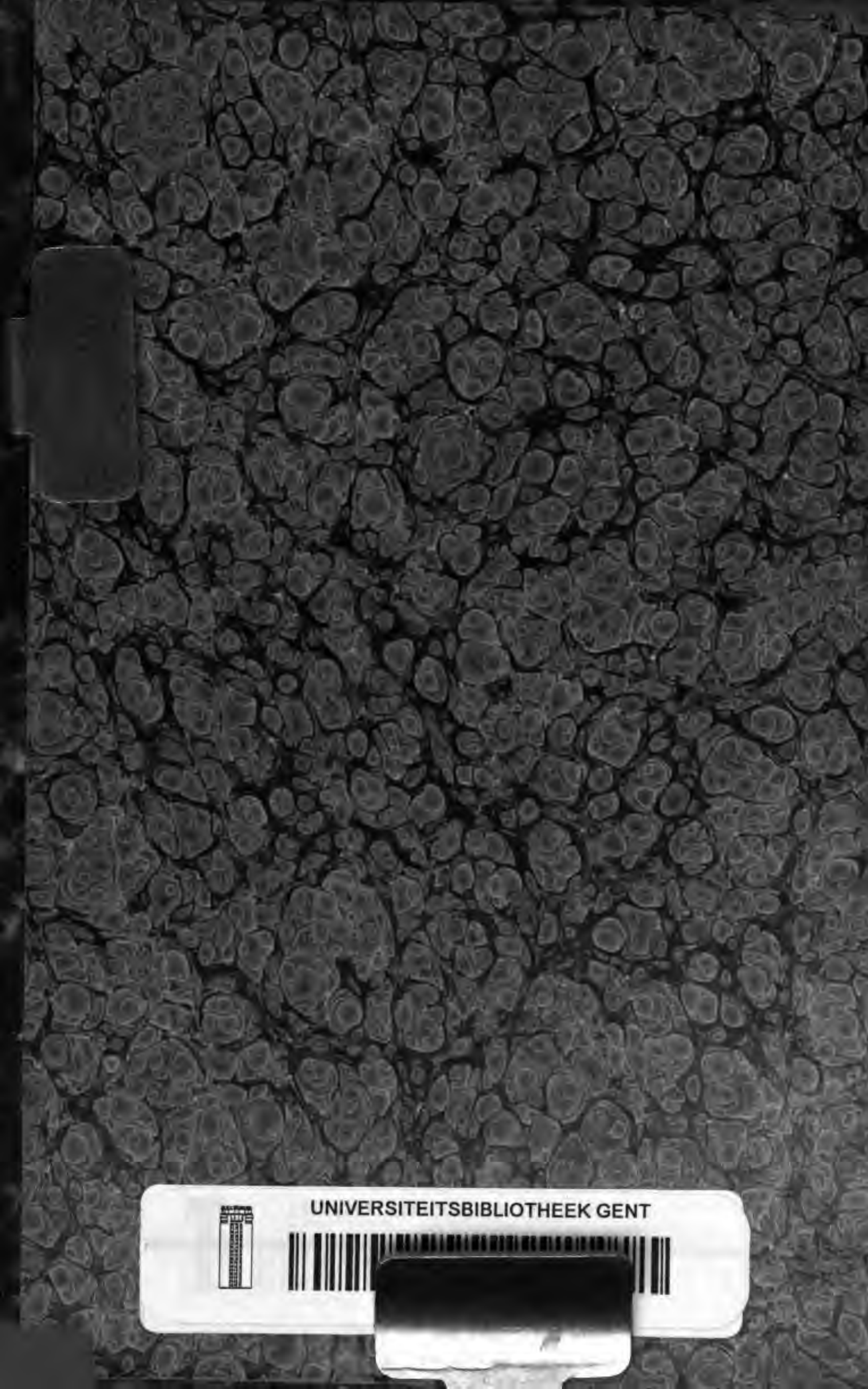



UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT



COSMOS

ESSAI D'UNE

DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
Rue Racine, 28, près de l'Odéon.

COSMOS

ESSAI D'UNE

DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE

PAR

ALEXANDRE DE HUMBOLDT;

TRADUIT

Par H. FAYE,

UN DES ASTRONOMES DE L'OBSERVATOIRE ROYAL DE PARIS.

« Naturæ vero rerum vis atque majestas in omnibus momentis fide caret, si quis modo partes ejus ac non totam complectatur animo. »

PLINE, *H. N.*, lib. VII, c. 1.

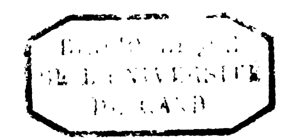
PREMIÈRE PARTIE.

PARIS,

GIDE ET CIE, LIBRAIRES-ÉDITEURS,

RUE DES PETITS-AUGUSTINS, 5.

1847



AVERTISSEMENT DU TRADUCTEUR.

Les unités de mesure, adoptées dans cet ouvrage, sont les unités légales de France. Les indications thermométriques se rapportent à l'échelle centigrade. Les longitudes sont comptées à partir du méridien de Paris. Les distances itinéraires et toutes les grandes mesures linéaires ont été données par l'auteur, en milles géographiques de 15 au degré équatorial : je les ai converties en myriamètres à raison de 7420 mètres par mille géographique. (Voy. note 30, p. 491.)

Ce premier volume forme un corps d'ouvrage complet. Deux autres volumes doivent le suivre bientôt, en Allemagne et en France; l'un d'eux sera consacré à développer les hautes considérations d'histoire et de philosophie qui se rattachent à l'idée principale dont le premier volume contient l'exposition.

On regrettera que M. de Humboldt n'ait pas donné lui-même la traduction du *Cosmos :* des travaux dont

l'importance est connue du monde savant l'ont décidé à me confier ce soin. Cependant, pour ne pas rester étranger à l'édition française, M. de Humboldt a traduit lui-même les prolégomènes, ou plutôt il a écrit en français une nouvelle introduction (p. 1-78); c'est un gage de plus de la sympathie qui unit depuis si longtemps à notre pays l'illustre voyageur, et qui lui a fait donner à la France ses plus importants ouvrages.

Une autre partie, relative à la grande question des races humaines, a été traduite par M. Guigniaut, membre de l'Institut. Cette question était étrangère à mes études habituelles; d'ailleurs elle a été traitée dans l'ouvrage allemand, avec une telle supériorité de vues et de style, que M. de Humboldt a dû chercher, parmi ses amis, l'homme le plus capable d'en donner l'équivalent aux lecteurs français. M. de Humboldt s'est naturellement adressé à M. Guigniaut, et ce savant a bien voulu se charger de traduire les dix dernières pages du texte, ainsi que les notes correspondantes.

Le reste m'appartient. Heureusement, je puis offrir au lecteur une garantie de l'exactitude de ma traduction, au point de vue scientifique, en déclarant que M. Arago a bien voulu revoir et corriger toutes mes épreuves. Qu'il me soit permis de lui offrir ici l'hommage de ma profonde reconnaissance. Au moment où ce livre va être soumis au public, je sens

plus vivement encore la valeur d'un pareil appui. Les liens d'une vieille amitié donnaient à M. de Humboldt le droit de réclamer cet appui pour son traducteur ; mais je crois pouvoir en attribuer une partie à la bienveillance généreuse dont M. Arago entoure et soutient tous ceux qui, comme moi, sont assez heureux pour recevoir sa direction scientifique.

Avant de terminer, je demande la permission d'aller au-devant d'un reproche auquel je me suis exposé. A l'époque où le *Cosmos* parut en Allemagne (avril 1845), il fut considéré comme l'expression fidèle de l'état des sciences physiques. Or, j'ai été forcé, par mes devoirs, mes travaux personnels, et par les difficultés inhérentes à la traduction d'un ouvrage qui embrasse tant de sujets divers, de retarder en France, de près d'une année, la publication de l'œuvre de M. de Humboldt : c'était risquer de lui faire perdre quelque peu de son mérite d'actualité. On sait qu'une brillante découverte a été faite, en astronomie, pendant ce court laps de temps; notre système planétaire a été enrichi d'un nouvel astre par M. Hencke, de Driessen. Au lieu de 11 planètes, il faut désormais en compter 12. Mais les appréciations de M. de Humboldt n'en ont reçu aucune atteinte; au contraire, cette découverte leur apporte une force nouvelle, une vérification de plus. Il n'est pas jusqu'à certaine épithète, répétée par M. de Humboldt avec une prédilection visible, qui n'ait échappé au danger de de-

venir moins juste, d'une année à l'autre : je veux parler de « ces orbites *si étroitement entrelacées* des petites planètes » (die sogenannten kleinen Planeten in ihren *so eng verschlungenen* Bahnen). Ce qui est si vrai pour les orbites de Cérès, de Pallas, de Junon, de Vesta, ne l'est pas moins, et même ne devient que plus frappant, quand on leur adjoint celle d'Astrée.

TABLE DES MATIÈRES.

LA TERRE.

VIE ORGANIQUE.

PRÉFACE DE L'AUTEUR.

J'offre à mes compatriotes, au déclin de ma vie, un ouvrage dont les premiers aperçus ont occupé mon esprit depuis un demi-siècle. Souvent, je l'ai abandonné, doutant de la possibilité de réaliser une entreprise trop téméraire : toujours, et imprudemment peut-être, j'y suis revenu, et j'ai persisté dans mon premier dessein. J'offre le *Cosmos*, qui est une *description physique du monde*, avec la timidité que m'inspire la juste défiance de mes forces. J'ai tâché d'oublier que les ouvrages longtemps attendus sont généralement ceux que le public accueille avec le moins d'indulgence.

Par les vicissitudes de ma vie et une ardeur d'instruction dirigée sur des objets très-variés, je me suis trouvé engagé à m'occuper, en apparence presque exclusivement et pendant plusieurs années, de sciences spéciales, de botanique, de géologie, de chimie, de positions astronomiques et de magnétisme terrestre. C'étaient des études préparatoires pour exécuter avec utilité des voyages lointains; j'avais cependant dans ces études un but plus élevé. Je désirais saisir le monde des phénomènes et des forces physiques dans leur connexité et leur influence mutuelles. Jouissant, dès ma première jeunesse, des conseils et de la bienveillance d'hommes supérieurs, je m'étais pénétré de bonne heure de la persuasion intime que, sans le désir d'acquérir une instruction solide dans les parties spéciales des sciences naturelles, toute contemplation de la nature en grand, tout essai de comprendre les lois qui composent la physique du monde, ne seraient qu'une vaine et chimérique entreprise.

Les connaissances spéciales, par l'enchaînement même des choses, s'assimilent et se fécondent mutuellement. Lorsque la botanique descriptive ne reste pas circonscrite dans les étroites limites de l'étude des formes et de leur réunion en genres et

en espèces, elle conduit l'observateur qui parcourt, sous différents climats, de vastes étendues continentales, des montagnes et des plateaux, aux notions fondamentales de la *géographie des plantes*, à l'exposé de la distribution des végétaux selon la distance à l'équateur et l'élévation au-dessus du niveau des mers. Or, pour comprendre les causes compliquées des lois qui règlent cette distribution, il faut approfondir les variations de température du sol rayonnant et de l'océan aérien qui enveloppe le globe. C'est ainsi que le naturaliste avide d'instruction est conduit d'une sphère de phénomènes à une autre sphère qui en limite les effets. La géographie des plantes, dont le nom même était presque inconnu il y a un demi-siècle, offrirait une nomenclature aride et dépourvue d'intérêt, si elle ne s'éclairait des études météorologiques.

Dans des expéditions scientifiques, peu de voyageurs ont eu, au même degré que moi, l'avantage de n'avoir pas seulement vu des côtes, comme c'est le cas dans les voyages autour du monde, mais d'avoir parcouru l'intérieur de deux grands continents dans des étendues très-considérables, et là où ces continents présentent les plus frappants contrastes, à savoir, le paysage tropical et alpin du Mexique ou de

l'Amérique du Sud, et le paysage des steppes de l'Asie boréale. Des entreprises de cette nature devaient, d'après la tendance de mon esprit vers des essais de généralisation, vivifier mon courage, et m'exciter à rapprocher, dans un ouvrage à part, les phénomènes terrestres de ceux qu'embrassent les espaces célestes. La *description physique de la terre*, jusqu'ici assez mal limitée comme science, devint, selon ce plan, qui s'étendait à toutes les choses créées, une *description physique du monde*.

La composition d'un tel ouvrage, s'il aspire à réunir au mérite du fond scientifique celui de la forme littéraire, présente de grandes difficultés. Il s'agit de porter l'ordre et la lumière dans l'immense richesse des matériaux qui s'offrent à la pensée, sans ôter aux tableaux de la nature le souffle qui les vivifie; car si l'on se bornait à donner des résultats généraux, on risquerait d'être aussi aride, aussi monotone qu'on le serait par l'exposé d'une trop grande multitude de faits particuliers. Je n'ose me flatter d'avoir satisfait à des conditions si difficiles à remplir, et d'avoir évité des écueils dont je ne sais que signaler l'existence.

Le faible espoir que j'ai d'obtenir l'indulgence du public repose sur l'intérêt témoigné, depuis tant

d'années, à un ouvrage publié peu de temps après mon retour du Mexique et des États-Unis, sous le titre de *Tableaux de la nature*. Ce petit livre, écrit originairement en allemand, et traduit en français, avec une rare connaissance des deux idiomes, par mon vieil ami M. Eyriès, traite quelques parties de la géographie physique, telles que la physionomie des végétaux, des savanes, des déserts, et l'aspect des cataractes, sous des points de vue généraux. S'il a eu quelque utilité, c'est moins par ce qu'il a pu offrir de son propre fonds que par l'action qu'il a exercée sur l'esprit et l'imagination d'une jeunesse avide de savoir et prompte à se lancer dans des entreprises lointaines. J'ai tâché de faire voir dans le *Cosmos*, comme dans les *Tableaux de la nature*, que la description exacte et précise des phénomènes n'est pas absolument inconciliable avec la peinture animée et vivante des scènes imposantes de la création.

Exposer dans des cours publics les idées qu'on croit nouvelles, m'a toujours paru le meilleur moyen de se rendre raison du degré de clarté qu'il est possible de répandre sur ces idées : aussi ai-je tenté ce moyen en deux langues différentes ; à Paris et à Berlin. Des cahiers qui ont été rédigés à cette occasion par des auditeurs intelligents me sont restés inconnus. J'ai

préféré ne pas les consulter. La rédaction d'un livre impose des obligations bien différentes de celles qu'entraîne l'exposition orale dans un cours public. A l'exception de quelques fragments de l'introduction du *Cosmos*, tout a été écrit dans les années 1843 et 1844. Le cours fait devant deux auditoires de Berlin, en soixante leçons, était antérieur à mon expédition dans le nord de l'Asie.

Le premier volume de cet ouvrage renferme la partie la plus importante à mes yeux de toute mon entreprise, un tableau de la nature présentant l'ensemble des phénomènes de l'univers depuis les nébuleuses planétaires jusqu'à la géographie des plantes et des animaux, en terminant par les races d'hommes. Ce tableau est précédé de considérations sur les différents degrés de jouissance qu'offrent l'étude de la nature et la connaissance de ses lois. Les limites de la science du Cosmos et la méthode d'après laquelle j'essaye de l'exposer y sont également discutées. Tout ce qui tient au détail des observations des faits particuliers, et aux souvenirs de l'antiquité classique, source éternelle d'instruction et de vie, est concentré dans des notes placées à la fin de chaque volume.

On a souvent fait la remarque, peu consolante en apparence, que tout ce qui n'a pas ses racines dans

les profondeurs de la pensée, du sentiment et de l'imagination créatrice, que tout ce qui dépend du progrès de l'expérience, des révolutions que font subir aux théories physiques la perfection croissante des instruments, et la sphère sans cesse agrandie de l'observation, ne tarde pas à vieillir. Les ouvrages sur les sciences de la nature portent ainsi en eux-mêmes un germe de destruction, de telle sorte qu'en moins d'un quart de siècle, par la marche rapide des découvertes, ils sont condamnés à l'oubli, illisibles pour quiconque est à la hauteur du présent. Je suis loin de nier la justesse de ces réflexions, mais je pense que ceux qu'un long et intime commerce avec la nature a pénétrés du sentiment de sa grandeur, qui, dans ce commerce salutaire, ont fortifié à la fois leur caractère et leur esprit, ne sauraient s'affliger de la voir de mieux en mieux connue, de voir s'étendre incessamment l'horizon des idées comme celui des faits. Il y a plus encore : dans l'état actuel de nos connaissances, des parties très-importantes de la physique du monde sont assises sur des fondements solides. Un essai de réunir ce qui, à une époque donnée, a été découvert dans les espaces célestes, à la surface du globe, et à la faible distance où il nous est permis de lire dans ses profondeurs,

pourrait, si je ne me trompe, quels que soient les progrès futurs de la science, offrir encore quelque intérêt, s'il parvenait à retracer avec vivacité une partie au moins de ce que l'esprit de l'homme aperçoit de général, de constant, d'éternel, parmi les apparentes fluctuations des phénomènes de l'univers.

Potsdam, au mois de novembre 1844.

CONSIDÉRATIONS

SUR LES

DIFFÉRENTS DEGRÉS DE JOUISSANCE QU'OFFRENT L'ASPECT DE LA NATURE ET L'ÉTUDE DE SES LOIS.

En essayant, après une assez longue absence de ma patrie, de développer l'ensemble des phénomènes physiques du globe et l'action simultanée des forces qui animent les espaces célestes, j'éprouve deux appréhensions différentes. D'un côté, la matière que je traite est si vaste et si variée, que je crains d'aborder le sujet d'une manière encyclopédique et superficielle; de l'autre, je dois éviter de fatiguer l'esprit par des aphorismes qui n'offriraient que des généralités sous des formes arides et dogmatiques. L'aridité naît souvent de la concision, tandis qu'une trop grande multiplicité d'objets qu'on veut embrasser à la fois, conduit à un manque de clarté et de précision dans l'enchaînement des idées. La nature est le règne de la liberté, et pour peindre vivement les conceptions et les jouissances que fait naître un sentiment profond de la nature, il faudrait que la pensée pût se revêtir librement aussi de ces formes et de cette élévation du langage, qui sont dignes de la grandeur et de la majesté de la création.

Si l'on ne considère pas l'étude des phénomènes physiques dans ses rapports avec les besoins matériels de la vie, mais dans son influence générale sur les progrès intellectuels de l'humanité, on trouve, comme résultat le plus élevé et le plus important de cette investigation, la connaissance de la connexité des forces de la nature, le sentiment intime de leur dépendance mutuelle. C'est l'intuition de ces rapports qui agrandit les vues et ennoblit nos jouissances. Cet agrandissement des vues est l'œuvre de l'observation, de la méditation et de l'esprit du temps dans lequel se concentrent toutes les directions de la pensée. L'histoire révèle à quiconque sait pénétrer à travers les couches des siècles antérieurs aux racines profondes de nos connaissances, comment, depuis des milliers d'années, le genre humain a travaillé à saisir, dans des mutations sans cesse renaissantes, l'invariabilité des lois de la nature, et à conquérir progressivement une grande partie du monde physique par la force de l'intelligence. Interroger les annales de l'histoire, c'est poursuivre cette trace mystérieuse par laquelle la même image du *Cosmos*, qui s'est révélée primitivement au sens intérieur comme un vague pressentiment de l'harmonie et de l'ordre dans l'univers, s'offre aujourd'hui à l'esprit comme le fruit de longues et sérieuses observations.

Aux deux époques de la contemplation du monde extérieur, au premier réveil de la réflexion et à l'époque d'une civilisation avancée, correspondent deux genres de jouissances. L'une, propre à la naïveté pri-

mitive des vieux âges, naît de la divination de l'ordre qu'annonce la succession paisible des corps célestes et le développement progressif de l'organisation. Une autre jouissance résulte de la connaissance précise des phénomènes. Dès que l'homme, en interrogeant la nature, ne se contente pas d'observer, mais qu'il fait naître des phénomènes sous des conditions déterminées; dès qu'il recueille et enregistre les faits pour étendre l'investigation au delà de la courte durée de son existence, la *philosophie de la nature* se dépouille des formes vagues et poétiques qui lui ont appartenu dès son origine; elle adopte un caractère plus sévère, elle pèse la valeur des observations, elle ne devine plus, elle combine et raisonne. Alors les aperçus dogmatiques des siècles antérieurs ne se conservent que dans les préjugés du peuple et des classes qui lui ressemblent par leur manque de lumières; ils se perpétuent surtout dans quelques doctrines qui, pour cacher leur faiblesse, aiment à se couvrir d'un voile mystique. Les langues surchargées d'expressions figurées portent longtemps les traces de ces premières intuitions. Un petit nombre de symboles, produits d'une heureuse inspiration des temps primitifs, prennent peu à peu des formes moins vagues; mieux interprétés, ils se conservent même dans le langage scientifique.

La nature, considérée rationnellement, c'est-à-dire soumise dans son ensemble au travail de la pensée, est l'unité dans la diversité des phénomènes, l'harmonie entre les choses créées dissemblables par leur

forme, par leur constitution propre, par les forces qui les animent; c'est le Tout (τὸ πᾶν) pénétré d'un souffle de vie. Le résultat le plus important d'une étude rationnelle de la nature est de saisir l'unité et l'harmonie dans cet immense assemblage de choses et de forces, d'embrasser avec une même ardeur ce qui est dû aux découvertes des siècles écoulés et à celles du temps où nous vivons, d'analyser le détail des phénomènes sans succomber sous leur masse. Sur cette voie, il est donné à l'homme, en se montrant digne de sa haute destinée, de comprendre la nature, de dévoiler quelques-uns de ses secrets, de soumettre aux efforts de la pensée, aux conquêtes de l'intelligence, ce qui a été recueilli par l'observation.

En réfléchissant d'abord sur les différents degrés de jouissance que fait naître la contemplation de la nature, nous trouvons qu'au premier degré doit être placée une impression entièrement indépendante de la connaissance intime des phénomènes physiques, indépendante aussi du caractère individuel du paysage, de la physionomie de la contrée qui nous environne. Partout où, dans une plaine monotone et formant horizon, des plantes d'une même espèce (des bruyères, des cistes ou des graminées) couvrent le sol, partout où les vagues de la mer baignent le rivage et font reconnaître leurs traces par des stries verdoyantes d'ulva et de varech flottant, le sentiment de la nature, grande et libre, saisit notre âme et nous révèle, comme par une mystérieuse inspiration, qu'il existe des lois qui règlent les forces de l'univers. Le simple contact de

l'homme avec la nature, cette influence du *grand air* (ou, comme disent d'autres langues par une expression plus belle, de l'*air libre*), exercent un pouvoir calmant : ils adoucissent la douleur et apaisent les passions quand l'âme est agitée dans ses profondeurs. Ces bienfaits, l'homme les reçoit partout, quelle que soit la zone qu'il habite, quel que soit le degré de culture intellectuelle auquel il s'est élevé. Ce que les impressions que nous signalons ici ont de grave et de solennel, elles le tiennent du pressentiment de l'ordre et des lois qui naît à notre insu, au simple contact avec la nature; elles le tiennent du contraste qu'offrent les limites étroites de notre être avec cette image de l'infini qui se révèle partout, dans la voûte étoilée du ciel, dans une plaine qui s'étend à perte de vue, dans l'horizon brumeux de l'Océan.

Une autre jouissance est celle que produit le caractère individuel du paysage, la configuration de la surface du globe dans une surface déterminée. Des impressions de ce genre sont plus vives, mieux définies, plus conformes à certaines situations de l'âme. Tantôt c'est la grandeur des masses, la lutte des éléments déchaînés ou la triste nudité des steppes, comme dans le nord de l'Asie, qui excitent nos émotions; tantôt, sous l'inspiration de sentiments plus doux, c'est l'aspect des champs qui portent de riches moissons, c'est l'habitation de l'homme au bord du torrent, la sauvage fécondité du sol vaincu par la charrue. Nous insistons moins ici sur les degrés de force qui distinguent les émotions que sur les différences de

sensations qu'excite le caractère du paysage, et auxquelles ce caractère donne du charme et de la durée.

S'il m'était permis de m'abandonner aux souvenirs de courses lointaines, je signalerais, parmi les jouissances que présentent les grandes scènes de la nature, le calme et la majesté de ces nuits tropicales, lorsque les étoiles, dépourvues de scintillation, versent une douce lumière planétaire sur la surface mollement agitée de l'Océan, je rappellerais ces vallées profondes des Cordilières, où les troncs élancés des palmiers, agitant leurs flèches panachées, percent les voûtes végétales, et forment, en longues colonnades, « une forêt sur la forêt » (1) ; je décrirais le sommet du pic de Ténériffe, lorsqu'une couche horizontale de nuages, éblouissante de blancheur, sépare le cône des cendres de la plaine inférieure, et que subitement, par l'effet d'un courant ascendant, du bord même du cratère, l'œil peut plonger sur les vignes de l'Orotava, les jardins d'orangers et les groupes touffus des bananiers du littoral. Dans ces scènes, je le répète, ce n'est plus le charme paisible uniformément répandu dans la nature qui nous émeut, c'est la physionomie du sol, sa configuration propre, le mélange incertain du contour des nuages, de la forme des îles voisines, de l'horizon de la mer étendue comme une glace ou enveloppée d'une vapeur matinale. Tout ce que les sens ne saisissent qu'à peine, ce que les sites romantiques présentent de plus effrayant, peut devenir une source de jouissance pour l'homme ; son imagination y trouve de quoi exercer librement

un pouvoir créateur. Dans le vague des sensations, les impressions changent avec les mouvements de l'âme, et, par une douce et facile déception, nous croyons recevoir du monde extérieur ce que, idéalement, nous y avons déposé à notre insu.

Lorsqu'après une longue navigation, éloignés de la patrie, nous débarquons pour la première fois sur une terre des tropiques, nous sommes agréablement surpris de reconnaître dans les rochers qui nous environnent ces mêmes schistes inclinés, ces mêmes basaltes en colonnes, recouverts d'amygdaloïdes cellulaires que nous venons de quitter sur le sol européen, et dont l'identité, dans des zones si diverses, nous rappelle que la croûte de la terre, en se solidifiant, est restée indépendante de l'influence des climats. Mais ces masses rocheuses de schiste et de basalte se trouvent couvertes de végétaux d'un port qui nous surprend, d'une physionomie inconnue. C'est là qu'entourés de formes colossales et de la majesté d'une flore exotique, nous éprouvons comment, par la merveilleuse flexibilité de notre nature, l'âme s'ouvre facilement aux impressions qui offrent entre elles un lien et une analogie secrète. Nous nous représentons si étroitement uni tout ce qui tient à la vie organique, que, s'il paraît d'abord qu'une végétation semblable à celle du pays natal devrait charmer nos yeux de préférence, comme le fait pour notre oreille, dans sa douce familiarité, l'idiome de la patrie, nous nous sentons néanmoins naturalisés peu à peu dans ces climats nouveaux. Citoyen du monde, l'homme

en tout lieu finit par se familiariser avec ce qui l'environne. A quelques plantes des régions lointaines, le colon applique des noms qu'il importe de la mère patrie comme un souvenir dont il redouterait la perte. Par les mystérieux rapports qui existent entre les différents types de l'organisation, les formes végétales exotiques se présentent à sa pensée comme embellies par l'image de celles qui ont entouré son berceau. C'est ainsi que l'affinité des sensations conduit au même but qu'atteint plus tard la comparaison laborieuse des faits, à la persuasion intime qu'un seul et indestructible nœud enchaîne la nature entière.

La tentative de décomposer en ses éléments divers la magie du monde physique est pleine de témérité; car le grand caractère d'un paysage et de toute scène imposante de la nature dépend de la simultanéité des idées et des sentiments qui se trouvent excités dans l'observateur. La puissance de la nature se révèle, pour ainsi dire, dans la connexité des impressions, dans cette unité d'émotions et d'effets se produisant en quelque sorte d'un seul coup. Si l'on veut indiquer leurs sources partielles, il faut descendre par l'analyse à l'individualité des formes et à la diversité des forces. Les éléments les plus variés et les plus riches de ce genre d'analyse s'offrent aux yeux des voyageurs dans le paysage de l'Asie australe, dans le grand archipel de l'Inde, et surtout dans le Nouveau Continent, là où les sommets des hautes Cordilières forment les bas-fonds de l'océan aérien, et où ces mêmes forces souterraines qui jadis ont soulevé des chaînes

de montagnes, les ébranlent encore de nos jours et menacent de les engloutir.

Des tableaux de la nature, tracés dans un but raisonné, ne sont pas uniquement faits pour plaire à l'imagination; ils peuvent aussi, lorsqu'on les rapproche les uns des autres, signaler ces gradations d'impressions que nous venons d'indiquer, depuis l'uniformité du littoral ou des steppes nues de la Sibérie jusqu'à l'inépuisable fécondité de la zone torride. Si dans notre imagination nous plaçons le mont Pilate sur le Schrekhorn (2) ou la Schneekoppe de Silésie sur le mont Blanc, nous n'aurons pas encore atteint un des grands colosses des Andes, le Chimborazo, qui a deux fois la hauteur de l'Etna; si l'on place le Righi ou le mont Athos sur le Chimborazo, on se forme l'image du plus haut sommet de l'Himalaya, du Dhawalagiri. Quoique les montagnes de l'Inde, par leur surprenante élévation, surpassent de beaucoup (et tant de mesures précises ont constaté ce résultat longtemps disputé) les Cordilières de l'Amérique méridionale, elles ne peuvent pas, à cause de leur position géographique, offrir cette inépuisable variété de phénomènes qui caractérise celles-ci. L'impression des grands aspects de la nature ne dépend pas de la hauteur seule. La chaîne de l'Himalaya est placée bien en deçà de la zone torride. A peine un palmier (3) s'égare-t-il dans les belles vallées du Kumaoun et du Garhwal. Par les 28° et 34° de latitude, sur la pente méridionale de l'ancien Paropamisus, la nature ne déploie plus cette abondance de fougères en arbre et

de graminées arborescentes, d'héliconia et d'orchidées, qui, dans la région tropicale, montent vers les plateaux les plus élevés. Sur le dos de l'Himalaya, à l'ombre du pin deodvara et des chênes à larges feuilles propres à ces alpes de l'Inde, la roche granitique et le micaschiste se couvrent de formes presque semblables à celles qui caractérisent l'Europe et l'Asie boréale. Les espèces ne sont pas identiques, mais analogues de port et de physionomie : ce sont des genévriers, des bouleaux alpestres, des gentianes, le parnassia des marais et le ribes épineux (4). Il manque aussi à la chaîne de l'Himalaya le phénomène imposant des volcans, qui, dans les Andes et dans l'archipel Indien, révèlent souvent aux indigènes, d'une manière formidable, l'existence des forces qui résident dans l'intérieur de notre planète. Aussi la région des neiges perpétuelles, à la pente méridionale de l'Himalaya, là où montent les courants d'air humide, et avec ces courants la vigoureuse végétation de l'Indoustan, commence déjà par 3600 et 3900 mètres de hauteur au-dessus du niveau de l'Océan : elle fixe par conséquent au développement de l'organisation une limite qui, dans la région équinoxiale des Cordilières, se trouve à 850 mètres plus haut (5).

Les pays qui avoisinent l'équateur ont un autre avantage sur lequel on n'a pas suffisamment appelé l'attention jusqu'ici. C'est la partie de la surface de notre planète où, dans la moindre étendue, la variété des impressions que la nature fait naître est la plus grande possible. Dans les montagnes colossales de

Cundinamarca, de Quito et du Pérou, sillonnées par de profondes vallées, il est donné à l'homme de contempler à la fois toutes les familles des plantes et tous les astres du firmament. C'est là qu'un même coup d'œil embrasse de majestueux palmiers, des forêts humides de bambusa, la famille des musacées, et au-dessus de ces formes du monde tropical, des chênes, des néfliers, des églantiers et des ombellifères, comme dans notre patrie européenne. Un même coup d'œil y embrasse la constellation de la Croix du Sud, les Nuées de Magellan et les étoiles conductrices de l'Ourse qui circulent autour du pôle arctique. C'est là que le sein de la terre et les deux hémiphères du ciel étalent toute la richesse de leurs formes et la variété de leurs phénomènes; c'est là que les climats, comme les zones végétales dont ils déterminent la succession, se trouvent superposés comme par étages, que les lois du décroissement de la chaleur, faciles à saisir par l'observateur intelligent, sont inscrites en caractères indélébiles sur les murs des rochers à la pente rapide des Cordilières.

Pour ne pas fatiguer ici par le détail de phénomènes que j'ai essayé, il y a longtemps, de représenter graphiquement (6), je ne reproduirai ici que quelques-uns de ces résultats généraux dont l'ensemble compose le *tableau physique de la zone torride.* Ce qui, dans le vague des sensations, se confond comme dépourvu de contours, ce qui reste enveloppé de cette vapeur brumeuse qui, dans le paysage, dérobe à la vue les hautes cimes, la pensée, en scrutant les

causes des phénomènes, le dévoile et le résout dans ses éléments divers; elle assigne à chacun de ces éléments de l'impression totale un caractère individuel. Il en résulte que, dans la sphère des études de la nature, comme dans celle de la poésie et de la peinture de paysage, la description des sites et les tableaux qui parlent à l'imagination ont d'autant plus de vérité et de vie que les traits y sont plus arrêtés.

Si les régions de la zone torride, par leur richesse organique et leur abondante fécondité, font naître les émotions les plus profondes, elles offrent aussi l'avantage inappréciable de montrer à l'homme, dans l'uniformité des variations de l'atmosphère et du développement des forces vitales, dans les contrastes de climats et de végétation qui naissent de la différence des hauteurs, l'invariabilité des lois qui gouvernent les mouvements célestes comme se réfléchissant dans les phénomènes terrestres. Qu'il me soit permis de m'arrêter quelques instants aux preuves de cette régularité, qu'on peut même assujettir à des échelles et à des évaluations numériques.

Dans les plaines ardentes qui s'élèvent peu au-dessus du niveau des mers, règne la famille des bananiers, des cycas et des palmiers, dont le nombre des espèces inscrites dans les flores des régions tropicales a merveilleusement augmenté de nos jours, par le zèle des botanistes voyageurs. A ces groupes succèdent, sur la pente des Cordilières, dans de hautes vallées ou dans des crevasses humides et ombragées, les fougères en arbre et le cinchona qui produit l'é-

corce fébrifuge. Les gros troncs cylindriques des fougères projettent, sur l'azur foncé du ciel, la jeune verdure d'un feuillage délicatement dentelé. Dans le cinchona, l'écorce est d'autant plus salutaire que la cime de l'arbre est plus souvent baignée et rafraîchie par de légers brouillards qui forment la couche supérieure des nuages reposant sur les plaines. Partout où finit la région des forêts, fleurissent par larges bandes des plantes qui vivent par groupes, de petits aralia, les thibaudes et les andromèdes à feuilles de myrte. La rose alpine des Andes, le magnifique befaria, forme une ceinture pourpre autour des pics élancés. Peu à peu, dans la région froide des *Paramos*, exposée à la perpétuelle tourmente des orages et des vents, disparaissent les arbustes rameux et les herbes velues constamment chargées de grandes corolles à couleurs variées. Les plantes monocotylédones à maigres épis couvrent uniformément le sol : c'est la zone des graminées, une savane qui s'étend sur d'immenses plateaux. Elle reflète à la pente des Cordilières une lumière jaunâtre, presque dorée dans le lointain, et sert de pâturage aux lamas et au bétail introduit par les colons européens. Là où le rocher nu de trachyte perce le gazon et s'élève dans des couches d'air qu'on croit moins chargées d'acide carbonique, les plantes seules d'une organisation inférieure, des lichens, des lécidées et la poussière colorée du lepraria se développent par taches orbiculaires. Des îlots de neige sporadique fraîchement tombée, variables de forme et d'étendue, arrêtent les derniers et faibles dévelop-

pements de la vie végétale. A ces îlots sporadiques succèdent les neiges éternelles. Elles ont une hauteur constante et facile à déterminer, à cause de la très-petite oscillation qu'éprouve leur limite inférieure. Les forces élastiques qui résident dans l'intérieur de notre globe travaillent, et le plus souvent en vain, à briser ces cloches ou dômes arrondis qui, resplendissants de la blancheur des neiges éternelles, surmontent le dos des Cordilières. Là où les forces souterraines ont réussi, soit par des cratères circulaires, soit par de longues crevasses, à ouvrir des communications permanentes avec l'atmosphère, elles produisent rarement des courants de laves, le plus souvent des scories enflammées, des vapeurs d'eau et de soufre hydraté, des mofettes d'acide carbonique.

Un spectacle si grandiose et si imposant n'a pu faire naître chez les habitants des tropiques, dans le premier état d'une civilisation naissante, qu'un sentiment vague d'étonnement et de frayeur. On aurait dû supposer peut-être, et nous l'avons déjà rappelé plus haut, que le retour périodique des mêmes phénomènes et le mode uniforme d'après lequel ils se groupent par zones superposées, auraient facilité à l'homme la connaissance des lois de la nature; mais aussi loin que remontent la tradition et l'histoire, nous ne trouvons pas que ces avantages aient été mis à profit dans ces heureux climats. Des recherches récentes ont rendu très-douteux que le siége primitif de la civilisation des Hindous, une des phases les plus merveilleuses des progrès de l'humanité, ait été entre

les tropiques mêmes. Airyana Vaedjo, l'antique berceau du Zend, était placé au nord-ouest du haut Indus, et après le grand schisme religieux, c'est-à-dire après la séparation des Iraniens d'avec l'institut brahmanique, la langue jadis commune aux Iraniens et aux Hindous, a pris, chez ces derniers (en même temps que la littérature, les mœurs et l'état de la société), une forme individuelle dans le Magadha ou Madhya Dêça (7), contrée limitée par la grande Cordilière de l'Himalaya et la petite chaîne Vindhya. En des temps bien postérieurs, la langue et la civilisation sanscrites se sont même avancées vers le sud-est et ont pénétré beaucoup plus avant dans la zone torride, comme mon frère Guillaume de Humboldt (8) l'a exposé dans son grand ouvrage sur la langue kavi et les langues qui ont des rapports de structure avec elle.

Malgré toutes les entraves que, sous des latitudes boréales, l'excessive complication des phénomènes et les perpétuelles variations locales dans les mouvements de l'atmosphère et dans la distribution des formes organiques, opposaient à la découverte des lois de la nature, c'est précisément à un petit nombre de peuples habitant la zone tempérée que s'est révélée d'abord une connaissance intime et rationnelle des forces qui agissent dans le monde physique. C'est de cette zone boréale, plus favorable apparemment aux progrès de la raison, à l'adoucissement des mœurs et aux libertés publiques, que les germes de la civilisation ont été importés dans la zone tropicale, tant par ces grands mouvements des races qu'on ap-

pelle migrations des peuples, que par l'établissement de colonies, fort différentes d'ailleurs par leurs institutions, dans les temps phéniciens ou helléniques et dans nos temps modernes.

En rappelant l'influence que la succession des phénomènes a pu exercer sur la facilité plus ou moins grande de reconnaître la cause qui les produit, j'ai touché à ce point important où, dans le contact avec le monde extérieur, à côté du charme que répand la simple contemplation de la nature, se place la jouissance qui naît de la connaissance des lois et de l'enchaînement mutuel de ces phénomènes. Ce qui longtemps n'a été que l'objet d'une vague inspiration est parvenu peu à peu à l'évidence d'une vérité positive. L'homme s'est efforcé de trouver, comme l'a dit dans notre langue un poëte immortel, « le pôle immuable dans l'éternelle fluctuation des choses créées (9). »

Pour remonter à la source de cette jouissance qui se fonde sur l'exercice de la pensée, il suffit de jeter un rapide coup d'œil sur les premiers aperçus de la philosophie de la nature ou de l'antique doctrine du Cosmos. Nous trouvons chez les peuples les plus sauvages (et mes propres courses ont confirmé cette assertion) un sentiment secret et mêlé de terreur de la puissante unité des forces de la nature, d'une essence invisible, spirituelle, qui se manifeste dans ces forces, soit qu'elles développent la fleur et le fruit sur l'arbre nourricier, soit qu'elles ébranlent le sol de la forêt ou qu'elles tonnent dans les nuages. Il se révèle ainsi un lien entre le monde visible et un monde

supérieur qui échappe aux sens. L'un et l'autre se confondent involontairement, et, dépourvu de l'appui de l'observation, simple produit d'une conception idéale, le germe d'une *philosophie de la nature* ne s'en développe pas moins dans le sein de l'homme.

Chez les peuples les plus arriérés dans la civilisation, l'imagination se plaît au jeu de créations bizarres et fantastiques. La prédilection pour le symbole influe simultanément sur les idées et sur les langues. Au lieu d'examiner, on devine, on dogmatise, on interprète ce qui n'a jamais été observé. Le monde des idées et des sentiments ne reflète pas dans sa pureté primitive le monde extérieur. Ce qui, dans quelques régions de la terre, ne s'est manifesté, comme rudiment de la philosophie naturelle, que chez un petit nombre d'individus doués d'une haute intelligence, se présente en d'autres régions, chez les familles entières de peuples, comme le résultat de tendances mystiques et d'intuitions instinctives. C'est dans le commerce intime avec la nature, c'est dans la vivacité et la profondeur des émotions qu'elle fait naître, qu'on rencontre aussi les premières impulsions vers le culte, vers une sanctification des forces destructives ou conservatrices de l'univers. Mais à mesure que l'homme, en parcourant les différents degrés de son développement intellectuel, parvient à jouir en toute liberté du pouvoir régulateur de la réflexion, à séparer, par un acte d'affranchissement progressif, le monde des idées de celui des sensations, un vague pressentiment de l'unité des forces de la nature ne

lui suffit plus. L'exercice de la pensée commence à accomplir sa haute mission ; l'observation, fécondée par le raisonnement, remonte avec ardeur aux causes des phénomènes.

L'histoire des sciences nous apprend qu'il n'a pas été facile de satisfaire aux besoins d'une si active curiosité. Des observations peu exactes et incomplètes ont conduit, par de fausses inductions, à ce grand nombre d'aperçus physiques qui se sont perpétués parmi les préjugés populaires dans toutes les classes de la société. C'est ainsi qu'à côté d'une connaissance solide et scientifique des phénomènes, il s'est conservé un système de prétendus résultats d'observations d'autant plus difficile à ébranler qu'il ne tient compte d'aucun des faits qui le renversent. Cet empirisme, triste héritage des siècles antérieurs, maintient invariablement ses axiomes. Il est arrogant comme tout ce qui est borné, tandis que la physique, fondée sur la science, doute parce qu'elle cherche à approfondir, sépare ce qui est certain de ce qui est simplement probable, et perfectionne sans cesse les théories en étendant le cercle des observations.

Cet assemblage de dogmes incomplets qu'un siècle lègue à l'autre, cette physique qui se compose de préjugés populaires, n'est pas seulement nuisible parce qu'elle perpétue l'erreur avec l'obstination qu'entraîne toujours le témoignage de faits mal observés ; elle empêche aussi l'esprit de s'élever aux grandes vues de la nature. Au lieu de chercher l'état *moyen* autour duquel oscillent, dans l'apparente in-

dépendance des forces, tous les phénomènes du monde extérieur, elle se plaît à multiplier les exceptions de la loi; elle cherche dans les phénomènes et dans les formes organiques d'autres merveilles que celles d'une succession régulière, d'un développement interne et progressif. Sans cesse elle incline à croire interrompu l'ordre de la nature, à méconnaître dans le présent l'analogie avec le passé, à poursuivre, au hasard de ses rêveries, la cause de prétendues perturbations, tantôt dans l'intérieur de notre globe, tantôt dans les espaces célestes.

C'est le but particulier de cet ouvrage, de combattre des erreurs qui prennent leur source dans un empirisme vicieux et dans des inductions imparfaites. Les plus nobles jouissances dépendent de la justesse et de la profondeur des aperçus, de l'étendue de l'horizon qu'on peut embrasser à la fois. Avec la culture de l'intelligence s'est accru, dans toutes les classes de la société, le besoin d'embellir la vie en augmentant la masse des idées et les moyens de les généraliser. Le sentiment de ce besoin prouve aussi, en réfutant de vagues accusations portées contre le siècle où nous vivons, que ce ne sont pas les seuls intérêts matériels de la vie qui occupent les esprits.

Je touche presque à regret une crainte qui semble naître d'une vue bornée ou d'une certaine sentimentalité molle et faible de l'âme, je veux dire la crainte que la nature ne perde de son charme et du prestige de son pouvoir magique à mesure que nous commençons à pénétrer dans ses secrets, à

comprendre le mécanisme des mouvements célestes, à évaluer numériquement l'intensité des forces. Il est vrai que les forces n'exercent, à proprement parler, un pouvoir magique sur nous qu'autant que leur action, enveloppée de mystères et de ténèbres, se trouve placée hors de toutes les conditions que l'expérience a pu atteindre. L'effet d'un tel pouvoir est par conséquent d'émouvoir l'imagination ; mais certes ce n'est pas cette faculté de l'âme que nous évoquerions de préférence pour présider aux laborieuses, aux minutieuses observations, dont le but est la connaissance des plus grandes et des plus admirables lois de l'univers. L'astronome qui, au moyen d'un héliomètre ou d'un prisme à double réfraction (10), détermine le diamètre des corps planétaires, qui mesure patiemment, pendant des années entières, la hauteur méridienne ou les rapports de distance des étoiles, qui cherche une comète télescopique au milieu d'un groupe de petites nébuleuses, ne se sent (et c'est la garantie même de la précision de son travail) l'imagination non plus émue que le botaniste qui compte les divisions du calice, le nombre des étamines, les dents tantôt libres, tantôt soudées de l'anneau qui entoure la capsule d'une mousse. Cependant, d'une part les mesures multipliées des angles, de l'autre les rapports du détail de l'organisation, préparent la voie à d'importants aperçus sur la physique générale.

Il faut distinguer entre la disposition de l'âme, l'état de l'esprit chez l'observateur, pendant qu'il

observe, et l'agrandissement ultérieur des vues qui est le fruit de l'investigation et du travail de la pensée. Les physiciens mesurent avec une admirable sagacité les ondes lumineuses inégalement longues, qui se renforcent ou se détruisent par *interférence*, même dans leurs actions chimiques. L'astronome, armé de puissants télescopes, pénètre dans les espaces célestes, contemple, aux dernières limites de notre système solaire, les lunes d'Uranus, et décompose de faibles points étincelants en étoiles doubles inégalement colorées. Les botanistes retrouvent la constance du mouvement giratoire du chara dans la plupart des cellules végétales, et reconnaissent l'enchaînement intime des formes organiques par genres et par familles naturelles. Or, la voûte céleste parsemée de nébuleuses et d'étoiles, et le riche tapis de végétaux qui couvre le sol dans le climat des palmiers, ne peuvent manquer de laisser à ces observateurs laborieux une impression plus imposante et plus digne de la majesté de la création qu'à ceux dont l'âme n'est point habituée à saisir les grands rapports qui lient les phénomènes. Je ne puis par conséquent tomber d'accord avec Burke, lorsque, dans un de ses spirituels ouvrages, il prétend « que notre ignorance des choses de la nature est la cause principale de l'admiration qu'elles nous inspirent, que c'est elle qui produit le sentiment du sublime. »

Tandis que l'illusion des sens fixe les astres à la voûte des cieux, l'astronomie, par ses travaux har-

dis, agrandit indéfiniment l'espace. Si elle circonscrit la grande nébuleuse à laquelle appartient le système solaire, ce n'est que pour nous montrer au delà, vers des régions qui fuient à mesure que les pouvoirs optiques augmentent, d'autres îlots de nébuleuses sporadiques. Le sentiment du sublime, en tant qu'il naît de la contemplation de la distance des astres, de leur grandeur, de l'étendue physique, se réfléchit dans le sentiment de l'infini qui appartient à une autre sphère d'idées, au monde intellectuel. Ce que le premier offre de solennel et d'imposant, il le doit à la liaison que nous venons de signaler, à cette analogie de jouissances et d'émotions qui sont excitées en nous, soit au milieu des mers, soit dans l'océan aérien, lorsque des couches vaporeuses et à demi diaphanes nous enveloppent sur le sommet d'un pic isolé, soit enfin devant un de ces puissants instruments qui dissolvent en étoiles des nébuleuses lointaines.

La simple accumulation d'observations de détail sans rapport entre elles, sans généralisation d'idées, a pu conduire sans doute à un préjugé profondément invétéré, à la persuasion que l'étude des sciences exactes doit nécessairement refroidir le sentiment et diminuer les nobles plaisirs de la contemplation de la nature. Ceux qui, dans le temps où nous vivons, au milieu des progrès de toutes les branches de nos connaissances et de la raison publique elle-même, nourrissent encore une telle erreur, méconnaissent le prix de toute extension de la sphère intellectuelle, le prix de cet art de voiler, pour ainsi dire, le détail des faits

isolés, pour s'élever à des résultats généraux. Souvent, au regret de sacrifier, sous l'influence du raisonnement scientifique, la libre jouissance de la nature, s'ajoute une autre crainte, celle qu'il n'est pas donné à toutes les intelligences de saisir les vérités de la physique du monde. Il est vrai qu'au milieu de cette fluctuation universelle de forces et de vie, dans ce réseau inextricable d'organismes qui se développent et se détruisent tour à tour, chaque pas que l'on fait dans la connaissance plus intime de la nature conduit à l'entrée de nouveaux labyrinthes; mais c'est l'excitation d'un sentiment divinatoire, c'est la vague intuition de tant de mystères à dévoiler, la multiplicité des routes à parcourir, qui, à tous les degrés du savoir, stimulent en nous l'exercice de la pensée. La découverte de chaque loi de la nature conduit à une autre loi plus générale, en fait pressentir au moins l'existence à l'observateur intelligent. La nature, comme l'a définie un célèbre physiologiste (11), et comme le mot même l'indique chez les Grecs et chez les Romains, est « ce qui croît et se développe perpétuellement, ce qui n'a de vie que par un changement continu de forme et de mouvement intérieur. »

La série des types organiques s'étend ou se complète pour nous à mesure que, par des voyages de terre ou de mer, on pénètre dans des régions inconnues, que l'on compare les organismes vivants avec ceux qui ont disparu dans les grandes révolutions de notre planète, à mesure que les microscopes se sont perfectionnés, et que l'usage s'en est répandu parmi

ceux qui savent s'en servir avec discernement. Au sein de cette immense variété de productions animales et végétales, dans le jeu de leurs périodiques transformations, se renouvelle sans cesse le mystère primordial de tout développement organique, ce problème de la *métamorphose* que Goethe a traité avec une sagacité supérieure, et qui naît du besoin que nous éprouvons de réduire les formes vitales à un petit nombre de types fondamentaux. Au milieu des richesses de la nature et de cette accumulation croissante des observations, l'homme se pénètre de la conviction intime qu'à la surface et dans les entrailles de la terre, dans les profondeurs de la mer et dans celles des cieux, même après des milliers d'années, « l'espace ne manquera pas aux conquérants scientifiques. » Le regret d'Alexandre (12) ne saurait s'adresser aux progrès de l'observation et de l'intelligence.

Des considérations générales, qu'elles aient rapport à la matière agglomérée en corps célestes ou à la distribution géographique des organismes terrestres, ne sont pas seulement plus attrayantes par elles-mêmes que les études spéciales; elles offrent aussi de grands avantages à ceux qui ne peuvent donner que peu de temps à ce genre d'occupations. Les différentes branches de l'histoire naturelle ne sont accessibles que dans certaines positions de la vie sociale; elles ne présentent pas de charme dans chaque saison, sous chaque climat. Dans les zones inhospitalières du nord, nous sommes privés pendant longtemps du spectacle qu'offrent à nos regards les forces productives de la

nature organique; et si notre intérêt est fixé sur une seule classe d'objets, les récits les plus animés des voyageurs qui ont parcouru des pays lointains, n'auront aucun attrait pour nous, à moins que ces récits ne touchent aux objets mêmes de notre prédilection.

De même que l'histoire des peuples, si elle pouvait toujours remonter avec succès aux véritables causes des événements, parviendrait à résoudre l'éternelle énigme des oscillations qu'éprouve le mouvement tour à tour progressif ou rétrograde de la société humaine; de même aussi la description physique du monde, la science du Cosmos, si elle était conçue par une forte intelligence et fondée sur la connaissance de tout ce que l'on a découvert jusqu'à une époque donnée, ferait disparaître une partie des contradictions que semble offrir au premier abord la complication des phénomènes, effet d'une multitude de perturbations simultanées. La connaissance des lois, qu'elles se révèlent dans les mouvements de l'Océan, dans la marche calculée des comètes, ou dans les attractions mutuelles des étoiles multiples, augmente le sentiment du calme de la nature. On dirait que « la discorde des éléments, » ce long épouvantail de l'esprit humain dans ses premières intuitions, s'apaise à mesure que les sciences étendent leur empire. Les vues générales nous habituent à considérer chaque organisme comme une partie de la création entière, à reconnaître dans la plante et dans l'animal, non l'espèce isolée, mais une forme liée, dans la chaîne des êtres, à d'autres formes vivantes ou éteintes. Elles

nous aident à saisir les rapports qui existent entre les découvertes les plus récentes et celles qui les ont préparées. Relégués sur un point de l'espace, nous n'en recueillons qu'avec plus d'avidité ce qui a été observé sous différents climats. Nous aimons à suivre d'audacieux navigateurs au milieu des glaces polaires, jusqu'au pic de ce volcan du pôle antarctique, dont les feux sont visibles pendant le jour à de grandes distances; nous parvenons même à comprendre quelques-unes des merveilles du magnétisme terrestre, et l'importance des nombreuses stations disséminées aujourd'hui dans les deux hémisphères pour épier la simultanéité des perturbations, la fréquence et la durée des *orages magnétiques*.

Qu'il me soit permis de faire quelques pas de plus dans le champ des découvertes dont l'importance ne peut être appréciée que par ceux qui se sont livrés à des études de physique générale. Des exemples choisis parmi les phénomènes qui ont surtout fixé l'attention dans ces derniers temps, répandront un jour nouveau sur les considérations précédentes. Sans une connaissance préliminaire de l'orbite des comètes, on ne saisirait pas l'importance de la découverte de l'une d'elles, dont l'orbite elliptique est incluse dans les étroites limites de notre système planétaire, et qui a révélé l'existence d'un fluide éthéré tendant à diminuer la force centrifuge et la durée des révolutions. A une époque où, avide d'un demi-savoir, on se plaît à mêler aux conversations du jour de vagues aperçus

scientifiques, les craintes d'un choc périlleux avec tel ou tel corps céleste, ou d'un prétendu dérangement des climats, se renouvellent sous d'autres formes. Ces rêves de l'imagination deviennent d'autant plus nuisibles, qu'ils ont leur source dans des prétentions dogmatiques. L'histoire de l'atmosphère et des variations annuelles qu'éprouve sa température, remonte déjà assez haut pour manifester le retour de petites oscillations autour de la chaleur moyenne d'un lieu, pour nous prémunir par conséquent contre la crainte exagérée de la détérioration générale et progressive des climats de l'Europe. La comète d'Encke, une des trois *comètes intérieures*, achève sa course en douze cents jours, et n'est, par la forme et la position de son orbite, pas plus dangereuse pour la terre que la grande comète de Halley, de soixante-seize ans, moins belle en 1835 qu'en 1759, que la comète intérieure de Biela, qui coupe, il est vrai, l'orbite de la terre, mais ne peut se rapprocher beaucoup de nous que lorsque sa proximité au soleil coïncide avec le solstice d'hiver.

La quantité de chaleur que reçoit une planète, et dont la distribution inégale détermine les variations météorologiques de l'atmosphère, dépend à la fois de la force photogénique du soleil, c'est-à-dire de l'état de ses enveloppes gazeuzes, et de la position relative de la planète et du corps central. Il existe des changements qu'éprouvent, selon les lois de la gravitation universelle, la forme de l'orbite terrestre ou l'inclinaison de l'écliptique (l'angle que fait l'axe de la terre

avec le plan de son orbite); mais ces changements périodiques sont si lents et enfermés dans des limites si étroites, que les effets thermiques ne sauraient devenir appréciables, pour nos instruments actuels, qu'après des milliers d'années. Les causes astronomiques d'un refroidissement de notre globe, de la diminution de l'humidité à sa surface, de la nature et de la fréquence de certaines épidémies (phénomènes souvent discutés de nos jours selon de ténébreux aperçus du moyen âge), doivent être considérées comme placées hors de la portée des procédés actuels de la physique et de la chimie.

L'astronomie physique nous offre d'autres phénomènes qu'on ne saurait saisir dans toute leur grandeur sans y être préparé par des vues générales sur les forces qui animent l'univers. Tels sont le nombre immense d'étoiles ou plutôt de soleils doubles, tournant autour d'un centre de gravité commun, et révélant l'existence de l'attraction newtonienne dans les mondes les plus éloignés; l'abondance ou la rareté des taches du soleil, c'est-à-dire de ces ouvertures qui se forment dans les atmosphères lumineuse et opaque dont le noyau solide est enveloppé; les chutes régulières des étoiles filantes du 13 novembre et de la fête de saint Laurent, anneau d'astéroïdes qui coupent probablement l'orbite de la terre, et se meuvent avec une vitesse planétaire.

Si des régions célestes nous descendons vers la terre, nous désirons concevoir les rapports qui existent entre les oscillations du pendule dans un espace

rempli d'air, oscillations dont la théorie a été perfectionnée par Bessel, et la densité de notre planète; nous demandons comment le pendule, faisant les fonctions d'une sonde, nous éclaire jusqu'à un certain point sur la constitution géologique des couches à de grandes profondeurs. On aperçoit une analogie frappante entre la formation des roches grenues qui composent des courants de laves à la pente des volcans actifs, et ces masses endogènes de granite, de porphyre et de serpentine, qui, sorties du sein de la terre, brisent, comme roches d'éruption, les bancs secondaires, et les modifient par contact, soit en les rendant plus durs au moyen de la silice qui s'introduit, soit en les réduisant à l'état de dolomie, soit enfin en y faisant naître des cristaux de composition très-variée. Le soulèvement d'îlots sporadiques, de dômes de trachyte et de cônes de basalte par les forces élastiques qui émanent de l'intérieur fluide du globe, ont conduit le premier géologue de notre siècle, M. Léopold de Buch, à la théorie du soulèvement des continents et des chaînes de montagnes en général. Une telle action des forces souterraines, la rupture et l'exhaussement des bancs de roches de sédiment dont le littoral du Chili, à la suite d'un grand tremblement de terre, a offert un exemple récent, font entrevoir la possibilité que des coquilles pélagiques trouvées par M. Bonpland et moi, sur le dos des Andes, à plus de 4,600 mètres d'élévation, aient pu parvenir à cette position extraordinaire, non par l'intumescence de l'Océan, mais par des agents volca-

niques capables de rider la croûte ramollie de la terre.

J'appelle *vulcanisme*, dans le sens le plus général du mot, toute action que l'intérieur d'une planète exerce sur sa croûte extérieure. La surface de notre globe et celle de la lune manifestent les traces de cette action, qui, dans notre planète du moins, a varié dans la série des siècles. Ceux qui ignorent que la chaleur intérieure de la terre augmente rapidement avec la profondeur, et qu'à huit ou neuf lieues de distance (13) le granite est en fusion, ne peuvent se former une idée précise des causes et de la simultanéité d'éruptions volcaniques très-éloignées les unes des autres, de l'étendue et du croisement des *cercles de commotions* qu'offrent les tremblements de terre, de la constance de température et de l'égalité de composition chimique observées dans les eaux thermales pendant une longue suite d'années. Telle est cependant l'importance de la quantité de chaleur propre à une planète, résultat de sa condensation primitive, variable selon la nature et la durée du rayonnement, que l'étude de cette quantité jette à la fois quelque lueur sur l'histoire de l'atmosphère et la distribution des corps organisés enfouis dans la croûte solide de la terre. Cette étude nous fait concevoir comment une température tropicale, indépendante de la latitude (de la distance aux pôles), a pu être l'effet de profondes crevasses restées longtemps ouvertes lors du ridement et du fendillement de la croûte à peine consolidée et exhalant la chaleur de l'intérieur. Elle nous retrace un ancien état de choses, dans lequel la

température de l'atmosphère et les climats en général étaient dus bien plutôt au dégagement du calorique et de différentes émanations gazeuses, c'est-à-dire à l'énergique réaction de l'intérieur sur l'extérieur, qu'au rapport de la position de la terre vis-à-vis du corps central, le soleil.

Les régions froides recèlent, déposés dans des couches sédimentaires, les produits des tropiques : dans le *terrain houiller*, des troncs de palmiers, restés sur pied et mêlés à des conifères, des fougères arborescentes, des goniatites et des poissons à écailles rhomboïdales osseuses (14); dans le *calcaire du Jura*, d'énormes squelettes de crocodiles et de plésiosaures, des plantulites et des troncs de cycadées ; dans la *craie*, de petites polythalames et des bryozoaires dont les mêmes espèces vivent encore au sein des mers actuelles ; dans le *tripoli* ou schiste à polir, la demi-opale et l'opale farineuse, de puissantes agglomérations d'infusoires siliceux qu'Ehrenberg, sous son microscope vivifiant, nous a révélées ; enfin, dans les *terrains de transport* et certaines cavernes, des ossements d'éléphants, de hyènes et de lions. Familiarisés que nous sommes avec les grandes vues de la physique du globe, ces productions des climats chauds, se trouvant à l'état fossile dans les régions septentrionales, n'excitent plus parmi nous une stérile curiosité : elles deviennent les plus dignes objets de méditations et de combinaisons nouvelles.

La multitude et la variété des problèmes que je viens d'aborder font naître la question de savoir si

des considérations générales peuvent avoir un degré suffisant de clarté là où manque l'étude détaillée et spéciale de l'histoire naturelle descriptive, de la géologie ou de l'astronomie mathématique. Je pense qu'il faut distinguer d'abord entre celui qui doit recueillir les observations éparses et les approfondir pour en exposer l'enchaînement, et celui à qui cet enchaînement doit être transmis sous la forme de résultats généraux. Le premier s'impose l'obligation de connaître la spécialité des phénomènes; il faut qu'avant d'atteindre à la généralisation des idées, il ait parcouru, du moins en partie, le domaine des sciences, qu'il ait observé, expérimenté, mesuré lui-même. Je ne saurais nier que là où manquent les connaissances positives, les résultats généraux qui, dans leurs rapports suivis, donnent tant de charme à la contemplation de la nature, ne peuvent pas tous être développés avec le même degré de lumière; mais j'aime à croire cependant que, dans l'ouvrage que je prépare sur la physique du monde, la partie la plus considérable des vérités sera mise en évidence sans qu'il soit nécessaire de remonter toujours aux principes et aux notions fondamentales. Ce tableau de la nature, dût-il même présenter, dans plusieurs de ses parties, des contours peu arrêtés, n'en sera pas moins propre à féconder l'intelligence, à agrandir la sphère des idées, à nourrir et à vivifier l'imagination.

Ce n'est peut-être pas à tort que l'on a reproché à plusieurs ouvrages scientifiques de l'Allemagne d'avoir diminué, par l'accumulation des détails, l'im-

pression et la valeur des aperçus généraux; de ne pas séparer suffisamment ces grands résultats qui forment, pour ainsi dire, les sommités des sciences, de la longue énumération des moyens qui ont servi à les obtenir. Ce reproche a fait dire avec humeur au plus illustre de nos poëtes (15): « Les Allemands ont le don de rendre les sciences inaccessibles. » L'édifice terminé ne peut produire de l'effet, que si on le débarrasse de l'échafaudage qui a été nécessaire pour le construire. Ainsi, l'uniformité de figure que l'on observe dans la distribution des masses continentales, qui toutes se terminent vers le sud en forme de pyramide, et s'élargissent vers le nord (loi qui détermine la nature des climats, la direction des courants dans l'Océan et dans l'atmosphère, le passage de certains types de végétation tropicale à la zone tempérée australe), peut être saisie avec clarté, sans que l'on connaisse les opérations géodésiques et astronomiques par lesquelles ces formes pyramidales des continents ont été déterminées. De même, la géographie physique nous apprend de combien de lieues l'axe équatorial est plus grand que l'axe polaire du globe; elle nous apprend l'égalité moyenne de l'aplatissement des deux hémisphères, sans qu'il soit nécessaire d'exposer comment, par la mesure des degrés du méridien ou par des observations du pendule, on est parvenu à reconnaître que la véritable figure de la terre n'est pas exactement celle d'un ellipsoïde de révolution régulier, et que cette figure se reflète dans les inégalités des mouvements lunaires,

Les grandes vues de la géographie comparée n'ont commencé à prendre de la solidité et de l'éclat tout ensemble, qu'à l'apparition de cet admirable ouvrage (*Études de la terre dans ses rapports avec la nature et avec l'histoire de l'homme*) où Charles Ritter a si fortement caractérisé la physionomie de notre globe, et montré l'influence de sa configuration extérieure, tant sur les phénomènes physiques qui s'opèrent à sa surface, que sur les migrations des peuples, leurs lois, leurs mœurs et tous les principaux phénomènes historiques dont elle est le théâtre.

La France possède un ouvrage immortel, l'*Exposition du système du monde*, dans lequel l'auteur a réuni les résultats des travaux mathématiques et astronomiques les plus sublimes, en les dégageant de l'appareil des démonstrations. La structure des cieux est réduite, dans ce livre, à la simple solution d'un grand problème de mécanique. Cependant, l'*Exposition du système du monde* de Laplace n'a jamais été taxée jusqu'ici d'être incomplète et de manquer de profondeur. Distinguer les matériaux dissemblables, les travaux qui ne tendent pas au même but, séparer les aperçus généraux des observations isolées, c'est le seul moyen de donner l'unité de composition à la physique du monde, de répandre de la clarté sur les objets, d'imprimer un caractère de grandeur à l'étude de la nature. En supprimant tout ce qui distrait par les détails, on n'envisage que les grandes masses, et l'on saisit rationnellement, par la pensée, ce qui reste insaisissable à la faiblesse de nos sens.

Il faut ajouter à ces considérations que l'exposition des résultats est singulièrement favorisée de nos jours par l'heureuse révolution qu'ont subie, depuis la fin du dernier siècle, les études spéciales, surtout celles de la géologie, de la chimie, et de l'histoire naturelle descriptive. A mesure que les lois se généralisent, que les sciences se fécondent mutuellement, qu'en s'étendant elles s'unissent entre elles par des liens plus nombreux et plus intimes, le développement des vérités générales peut être concis sans devenir superficiel. Au début de la civilisation humaine, tous les phénomènes paraissent isolés ; la multiplicité des observations et la réflexion les rapprochent et font connaître leur dépendance mutuelle. S'il arrive pourtant que, dans un siècle caractérisé, comme le nôtre, par les progrès les plus éclatants, un manque de liaison des phénomènes entre eux se fasse sentir pour certaines sciences, on doit s'attendre à des découvertes d'autant plus importantes que ces mêmes sciences ont été cultivées avec une sagacité d'observations et une prédilection toutes particulières. C'est ce genre d'attente qu'excitent la météorologie, plusieurs parties de l'optique, et, depuis les beaux travaux de Melloni et de Faraday, l'étude du calorique rayonnant et de l'électro-magnétisme. Il reste là à recueillir une riche moisson, bien que la pile de Volta nous montre déjà une liaison intime entre les phénomènes électriques, magnétiques et chimiques. Qui oserait affirmer aujourd'hui que nous connaissons avec précision la partie de l'atmosphère qui n'est pas de l'oxygène,

que des millièmes de substances gazeuses agissant sur nos organes ne sont pas mêlés à l'azote, qu'on ait même découvert le nombre entier des forces qui existent dans l'univers?

Il n'est point question, dans cet essai sur la physique du monde, de réduire l'ensemble des phénomènes sensibles à un petit nombre de principes abstraits, ayant leur base dans la raison seule. La physique du monde, telle que j'entreprends de l'exposer, n'a pas la prétention de s'élever aux périlleuses abstractions d'une science purement rationnelle de la nature; c'est une *géographie physique* réunie à la *description des espaces célestes* et des corps qui remplissent ces espaces. Étranger aux profondeurs de la philosophie purement spéculative, mon essai sur le Cosmos est la contemplation de l'univers, fondée sur un empirisme raisonné, c'est-à-dire sur l'ensemble des faits enregistrés par la science, et soumis aux opérations de l'entendement qui compare et combine. C'est dans ces limites seules que l'ouvrage que j'ai osé entreprendre rentre dans la sphère des travaux auxquels a été vouée la longue carrière de ma vie scientifique. Je ne me hasarde pas dans une sphère où je ne saurais me mouvoir avec liberté, quoique d'autres puissent à leur tour s'y essayer avec succès. L'unité que je tâche d'atteindre dans le développement des grands phénomènes de l'univers est celle qu'offrent les compositions historiques. Tout ce qui tient à des individualités accidentelles, à l'essence variable de la réalité, que ce soit

dans la forme des êtres et dans le groupement des corps, ou dans la lutte de l'homme contre les éléments et des peuples contre les peuples, ne peut être *rationnellement construit*, déduit des idées seules.

J'ose croire que la description de l'univers et l'histoire civile se trouvent placées au même degré d'empirisme; mais en soumettant les phénomènes physiques et les événements au travail de la pensée, et en remontant par le raisonnement aux causes, on se pénètre de plus en plus de cette antique croyance, que les forces inhérentes à la matière et celles qui régissent le monde moral, exercent leur action sous l'empire d'une nécessité primordiale, et selon des mouvements qui se renouvellent par retours périodiques plus ou moins longs. C'est cette nécessité des choses, cet enchaînement occulte, mais permanent, ce retour périodique dans le développement progressif des formes, des phénomènes et des événements, qui constituent la *nature* obéissante à une première impulsion donnée. La physique, comme l'indique son nom même, se borne à expliquer les phénomènes du monde matériel par les propriétés de la matière. Le dernier but des sciences expérimentales est donc de remonter à l'existence des lois, et de les généraliser progressivement. Tout ce qui porte au delà n'est pas du domaine de la physique du monde, et appartient à un autre genre de spéculations plus élevées. Emmanuel Kant, du très-petit nombre des philosophes qu'on n'a pas accusés d'impiété jusqu'ici, a marqué les limites des explications

physiques avec une rare sagacité, dans son célèbre *Essai sur la théorie et la construction des cieux*, publié à Kœnigsberg, en 1755.

L'étude d'une science qui promet de nous conduire à travers les vastes espaces de la création, ressemble à un voyage dans un pays lointain. Avant de l'entreprendre, on mesure, et souvent avec méfiance, ses propres forces comme celles du guide qu'on a choisi. La crainte, dont la source est l'abondance et la difficulté des matières, diminue, si l'on se rappelle, comme nous l'avons énoncé plus haut, qu'avec la richesse des observations, a augmenté aussi, de nos jours, la connaissance de plus en plus intime de la connexité des phénomènes. Ce qui, dans le cercle plus étroit de notre horizon, a paru longtemps inexplicable, a été éclairci souvent et inopinément par des recherches faites à de grandes distances. Dans le règne animal, comme dans le règne végétal, des formes organiques restées isolées ont été liées par des chaînons intermédiaires, par des formes ou types de transition. La géographie des êtres doués de vie se complète, en nous montrant des espèces, des genres, des familles entières propres à un continent, comme reflétés dans des formes analogues d'animaux et de plantes du continent opposé. Ce sont, pour ainsi dire, des *équivalents* qui se suppléent et se remplacent dans la grande série des organismes. La transition et l'enchaînement se fondent tour à tour sur un amoindrissement ou un développement excessif de certaines parties, sur des soudures d'organes

distincts, sur la prépondérance qui résulte d'un manque d'équilibre dans le balancement des forces, sur des rapports avec des formes intermédiaires, qui, loin d'être permanentes, caractérisent seulement certaines phases d'un développement normal. Si, des corps doués de la vie, nous passons aux êtres du monde inorganique, nous y trouverons des exemples qui caractérisent à un haut degré les progrès de la géologie moderne. Nous reconnaîtrons comment, d'après les grandes vues d'Elie de Beaumont, les chaînes de montagnes qui divisent les climats, les zones végétales et les races de peuples, nous révèlent leur *âge relatif*, et par la nature des bancs sédimentaires qu'elles ont soulevés, et par les directions qu'elles suivent au-dessus des longues crevasses sur lesquelles s'est fait le ridement de la surface du globe. Des rapports de gisement dans des formations de trachyte et de porphyre syénitique, de diorite et de serpentine, qui sont restés douteux dans les terrains aurifères de la Hongrie, dans l'Oural, riche en platine, et à la pente sud-ouest de l'Altaï sibérien, se trouvent éclaircis par des observations recueillies sur les plateaux de Mexico et d'Antioquia, dans les ravins insalubres du Choco. Les matériaux les plus importants sur lesquels, dans les temps modernes, la physique du monde a posé ses bases, n'ont pas été accumulés au hasard. On a reconnu enfin, et cette conviction donne un caractère particulier aux investigations de notre époque, que des courses lointaines, consacrées longtemps de préférence au récit

de hasardeuses aventures, ne peuvent être instructives qu'autant que le voyageur connaît l'état de la science dont il doit étendre le domaine, qu'autant que ses idées guident ses recherches et l'initient à l'étude de la nature.

C'est par cette tendance vers les conceptions générales, périlleuse seulement dans ses abus, qu'une partie considérable des connaissances physiques déjà acquises peut devenir la propriété commune de toutes les classes de la société; mais cette propriété n'a de la valeur qu'autant que l'instruction répandue contraste, par l'importance des objets qu'elle traite, et par la dignité de ses formes, avec ces compilations peu substantielles que, jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, on a signalées par le nom impropre de *savoir populaire*. J'aime à me persuader que les sciences exposées dans un langage qui s'élève à leur hauteur, grave et animé à la fois, doivent offrir à ceux qui, renfermés dans le cercle étroit des devoirs de la vie, rougissent d'être restés longtemps étrangers au commerce intime avec la nature, une des plus vives jouissances, celle d'enrichir l'esprit d'idées nouvelles. Ce commerce, par les émotions qu'il fait naître, réveille, pour ainsi dire en nous, des organes qui longtemps ont sommeillé. Nous parvenons à saisir d'un coup d'œil étendu ce qui, dans les découvertes physiques, agrandit la sphère de l'intelligence, et ce qui, par d'heureuses applications aux arts mécaniques et chimiques, accroît la richesse nationale.

Une connaissance plus exacte de la liaison des phé-

nomènes nous délivre aussi d'une erreur, trop répandue encore, c'est que, sous le rapport du progrès des sociétés humaines et de leur prospérité industrielle, toutes les branches de la connaissance de la nature n'ont pas la même valeur intrinsèque. On établit très-arbitrairement des degrés d'importance entre les sciences mathématiques, l'étude des corps organisés, la connaissance de l'électro-magnétisme, l'investigation des propriétés générales de la matière dans ses divers états d'agrégation moléculaire. On déprécie présomptueusement ce que l'on croit flétrir par le nom de « recherches purement théoriques. » On oublie, et cette remarque est pourtant bien ancienne, que l'observation d'un phénomène qui paraît d'abord entièrement isolé, renferme souvent le germe d'une grande découverte. Lorsque Aloysio Galvani excita pour la première fois la fibre nerveuse par le contact accidentel de deux métaux hétérogènes, ses contemporains étaient loin d'espérer que l'action de la pile de Volta nous ferait voir dans les alcalis des métaux à lustre d'argent, nageant sur l'eau et éminemment inflammables; que la pile elle-même deviendrait un instrument puissant d'analyse chimique, un thermoscope et un aimant. Lorsque Huyghens observa le premier, en 1678, un phénomène de polarisation, la différence qui existe entre les deux rayons dans lesquels un faisceau de lumière se partage en traversant un cristal à double réfraction, on ne prévoyait pas que, presque un siècle et demi plus tard, la grande découverte de la *polarisation chromatique*, par

M. Arago, conduirait cet astronome-physicien à résoudre, au moyen d'un petit fragment de spath d'Islande, les importantes questions (16) de savoir si la lumière solaire émane d'un corps solide ou d'une enveloppe gazeuse, si les comètes nous envoient de la lumière propre ou réfléchie.

L'appréciation égale de toutes les branches des sciences mathématiques, physiques et naturelles, est le besoin d'une époque où la richesse matérielle des États et leur prospérité croissante sont principalement fondées sur un emploi plus ingénieux et plus rationnel des productions et des forces de la nature. Un rapide coup d'œil jeté sur l'état actuel de l'Europe rappelle qu'au milieu de cette lutte inégale des peuples qui rivalisent dans la carrière des arts industriels, l'isolement et une lenteur indolente ont indubitablement pour effet la diminution ou l'anéantissement total de la richesse nationale. Il en est de la vie des peuples comme de la nature, qui, selon une heureuse expression de Goethe (17), « dans son impulsion éternellement reçue et transmise, dans le développement organique des êtres, ne connaît ni repos ni arrêt, qui a attaché sa malédiction à tout ce qui retarde et suspend le mouvement. » C'est la propagation des études fortes et sérieuses des sciences qui contribuera à éloigner les dangers que je signale ici. L'homme n'a de l'action sur la nature, il ne peut s'approprier aucune de ses forces, qu'autant qu'il apprend à les mesurer avec précision, à connaître les lois du monde physique. Le pouvoir des sociétés humaines, Bacon

l'a dit, c'est l'intelligence; ce pouvoir s'élève et s'abaisse avec elle. Mais le savoir qui résulte du libre travail de la pensée n'est pas seulement une joie de l'homme, il est aussi l'antique et indestructible droit de l'humanité. Tout en faisant partie de ses richesses, souvent il est la compensation des biens que la nature a répartis avec parcimonie sur la terre. Les peuples qui ne prennent pas une part active au mouvement industriel, au choix et à la préparation des matières premières, aux applications heureuses de la mécanique et de la chimie, chez lesquels cette activité ne pénètre pas toutes les classes de la société, doivent infailliblement déchoir de la prospérité qu'ils avaient acquise. L'appauvrissement est d'autant plus rapide, que des États limitrophes rajeunissent davantage leur force par l'heureuse influence des sciences sur les arts.

De même que, dans les sphères élevées de la pensée et du sentiment, dans la philosophie, la poésie et les beaux-arts, le premier but de toute étude est un but intérieur, celui d'agrandir et de féconder l'intelligence, de même aussi le terme vers lequel les sciences doivent tendre directement, c'est la découverte des lois, du principe d'unité qui se révèle dans la vie universelle de la nature. En poursuivant la route que nous venons de tracer, les études physiques n'en seront pas moins utiles aux progrès de l'industrie, qui est une conquête de l'intelligence de l'homme sur la matière. Par une heureuse connexité de causes et d'effets, souvent même sans

que l'homme en ait la prévision, le vrai, le beau, le bon se trouvent liés à l'utile. L'amélioration des cultures livrées à des mains libres et dans des propriétés d'une moindre étendue; l'état florissant des arts mécaniques, délivrés des entraves que leur opposait l'esprit de corporation; le commerce agrandi et vivifié par la multiplicité des moyens de contact entre les peuples, voilà les résultats glorieux des progrès intellectuels et du perfectionnement des institutions politiques dans lesquels ces progrès se reflètent. Le tableau de l'histoire moderne devrait convaincre ceux dont le réveil paraît tardif.

Ne craignons pas non plus que la direction qui caractérise notre siècle, que la prédilection si marquée pour l'étude de la nature et pour les progrès de l'industrie, aient pour effet nécessaire de ralentir les nobles efforts qui se produisent dans le domaine de la philosophie, de l'histoire et de la connaissance de l'antiquité; qu'elles tendent à priver les productions des arts, charme de notre existence, du souffle vivifiant de l'imagination. Partout où, sous l'égide d'institutions libres et d'une sage législation, les germes quelconques de la civilisation peuvent se développer pleinement, il n'est pas à craindre qu'une rivalité pacifique nuise à aucune des créations de l'esprit. Chacun de ces développements offre des fruits précieux à l'État, ceux qui donnent la nourriture à l'homme et fondent sa richesse physique, aussi bien que ceux qui, plus durables, transmettent la gloire des peuples à la postérité la plus reculée. Les Spartiates,

malgré leur austérité dorienne, priaient les dieux « de leur accorder le beau avec le bon (18). »

Je ne développerai pas davantage ces considérations si souvent exposées sur l'influence qu'exercent les sciences mathématiques et physiques en tout ce qui tient aux besoins matériels de la société. La carrière que je dois parcourir est trop vaste pour me permettre d'insister ici sur l'utilité des applications. Accoutumé à des courses lointaines, peut-être ai-je le tort de dépeindre la route comme plus frayée et plus agréable qu'elle ne l'est réellement : c'est l'habitude de ceux qui aiment à guider les autres jusqu'aux sommets de hautes montagnes. Ils vantent la vue, lors même qu'une grande étendue de plaines reste cachée dans les nuages ; ils savent qu'un voile vaporeux et à demi diaphane a un charme secret, que l'image de l'infini lie le monde des sens au monde des idées et des émotions. Pareillement aussi, de la hauteur à laquelle s'élève la physique du monde, l'horizon ne se montre pas également éclairé et bien arrêté dans toutes ses parties. Mais ce qui pourra rester vague et voilé ne le sera pas seulement par suite du défaut de commerce qui résulte de l'état d'imperfection de quelques sciences ; il le sera plus encore par la faute du guide qui, imprudemment, a entrepris de s'élever jusqu'à ces sommités.

L'introduction au Cosmos n'avait pas du reste pour but de faire valoir l'importance et la grandeur de la physique du monde, lesquelles ne sont pas contestées de nos jours. J'ai voulu seulement prouver

que, sans nuire à la solidité des études spéciales, on peut généraliser les idées, les concentrer dans un foyer commun, montrer les forces et les organismes de la nature comme mus et animés par une même impulsion. « La nature, dit Schelling dans son poétique discours sur les arts, n'est pas une masse inerte ; elle est, pour celui qui sait se pénétrer de sa sublime grandeur, la force créatrice de l'univers, force sans cesse agissante, primitive, éternelle, qui fait naître dans son propre sein tout ce qui existe, périt et renaît tour à tour. »

En reculant les limites de la physique du globe, en réunissant sous un même point de vue les phénomènes que présente la terre avec ceux qu'embrassent les espaces célestes, on s'élève à la science du Cosmos, on convertit la physique du globe en une physique du monde. L'une de ces dénominations est formée à l'imitation de l'autre ; mais la science du Cosmos n'est point l'agrégation encyclopédique des résultats les plus généraux et les plus importants que fournissent les études spéciales. Ces résultats ne donnent que les matériaux d'un vaste édifice ; leur ensemble ne saurait constituer la physique du monde, cette science qui aspire à faire connaître l'action simultanée et le vaste enchaînement des forces qui animent l'univers. La distribution des types organiques selon les rapports de latitude, de hauteur et de climats (géographie des plantes et des animaux), est tout aussi différente de la botanique et de la zoologie descriptives, que l'est la géologie de la minéralogie proprement

dite. La physique du monde ne doit pas par conséquent être confondue avec ces *Encyclopédies des sciences naturelles* publiées jusqu'ici et dont le titre est aussi vague que les limites en sont mal tracées. Dans l'ouvrage qui nous occupe, les faits partiels ne seront considérés que dans leurs rapports avec le tout. Plus ce point de vue est élevé, plus l'exposition de notre science réclame une méthode qui lui soit propre, un langage animé et pittoresque.

En effet, la pensée et le langage sont entre eux dans une intime et antique alliance. Lorsque, par l'originalité de sa structure et sa richesse native, la langue parvient à donner du charme et de la clarté aux tableaux de la nature ; lorsque, par l'heureuse flexibilité de son organisation, elle se prête à peindre les objets du monde extérieur, elle répand en même temps comme un souffle de vie sur la pensée. C'est par ce reflet mutuel que la parole est plus qu'un signe ou la forme de la pensée. Son influence bienfaisante se manifeste surtout en présence du sol natal, par l'action spontanée du peuple, dont elle est la vivante expression. Fier d'une patrie qui cherche à concentrer sa force dans l'unité intellectuelle, j'aime à rappeler, par un retour sur moi-même, les avantages qu'offre à l'écrivain l'emploi d'un idiome qui lui est propre, le seul qu'il puisse manier avec quelque souplesse. Heureux s'il lui est donné, en exposant les grands phénomènes de l'univers, de puiser dans les profondeurs d'une langue qui, depuis des siècles, par

le libre essor de la pensée comme par les œuvres de l'imagination créatrice, a si puissamment influé sur les destinées humaines.

LIMITES ET MÉTHODE D'EXPOSITION

DE LA

DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE.

Dans les considérations qui précèdent, j'ai tâché d'exposer et d'éclaircir, par quelques exemples, comment les jouissances qu'offre l'aspect de la nature, si diverses dans leurs sources, se sont accrues et ennoblies par la connaissance de la connexité des phénomènes et par celle des lois qui les régissent. Il me reste à examiner l'esprit de la méthode qui doit présider à l'exposition de la *description physique du monde*, à indiquer les limites dans lesquelles je compte circonscrire la science, d'après les aperçus qui se sont offerts à moi dans le cours de mes études et sous les différents climats que j'ai parcourus. Puissé-je me flatter de l'espoir qu'une discussion de ce genre justifiera le titre imprudemment donné à cet ouvrage, et m'affranchira du reproche d'une présomption qui serait doublement blâmable dans des travaux scientifiques! Avant de présenter le tableau des phénomènes partiels, distribués dans les groupes qu'ils forment, je traiterai des questions générales qui, intimement liées entre elles, intéressent la nature de nos connaissances sur le monde extérieur et les rapports que ces connaissances affectent, à toutes les époques de l'histoire, avec les différentes phases de

la culture intellectuelle des peuples. Ces questions ont pour objet :

1° Les limites précises de la description physique du monde, comme science distincte ;

2° L'énumération rapide de la totalité des phénomènes de la nature, sous la forme d'un *tableau général de la nature ;*

3° L'influence du monde extérieur sur l'imagination et le sentiment, influence qui a donné, dans les temps modernes, une impulsion puissante à l'étude des sciences naturelles, par la description animée des régions lointaines, par la peinture du paysage en tant qu'elle caractérise la physionomie des végétaux, par les plantations ou la disposition des formes végétales exotiques en groupes qui contrastent entre eux ;

4° L'histoire de la contemplation de la nature, ou le développement progressif de l'idée du *Cosmos*, selon l'exposé des faits historiques et géographiques qui ont conduit à la découverte de l'enchaînement des phénomènes.

Plus est élevé le point de vue sous lequel la physique du monde envisage les phénomènes, plus il est nécessaire de circonscrire la science dans ses véritables limites, et de la séparer de toutes les connaissances analogues ou auxiliaires. La description physique du monde est fondée sur la contemplation de l'universalité des choses créées, de tout ce qui coexiste dans l'espace, en fait de substances et de forces, de la simultanéité des être matériels qui constituent l'univers. La science que j'essaye de définir a, par

conséquent, pour l'homme, habitant de la terre, deux parties distinctes : la terre elle-même et les espaces célestes. C'est pour faire voir le caractère propre, le caractère d'indépendance de la description physique du monde, et pour indiquer en même temps la nature de ses rapports avec la *physique générale*, avec l'*histoire naturelle descriptive*, la *géologie* et la *géographie comparée*, que je vais m'arrêter d'abord et de préférence à cette partie de la science du Cosmos qui concerne la terre. De même que l'histoire de la philosophie ne consiste pas dans une énumération en quelque sorte matérielle des opinions philosophiques des différents âges, de même aussi la description physique du monde ne saurait être une simple association encyclopédique des sciences que nous venons de nommer. La confusion entre des connaissances étroitement liées est d'autant plus grande, que, depuis des siècles, on s'est habitué à désigner des groupes de notions empiriques par des dénominations qui sont tantôt trop larges, tantôt trop étroites, par rapport aux idées qu'elles doivent exprimer. Ces dénominations offrent en outre le grand désavantage d'avoir eu un tout autre sens dans les langues de l'antiquité classique auxquelles elles ont été empruntées. Les noms de physiologie, de physique, d'histoire naturelle, de géologie et de géographie, ont pris naissance et ont commencé à être d'un usage habituel bien avant qu'on eût des idées nettes de la diversité des objets que ces sciences devaient embrasser, c'est-à-dire de leur délimitation réciproque.

Telle est sur les langues l'influence d'une longue habitude, que, chez une des nations européennes les plus avancées dans la civilisation, le mot de *physique* est appliqué à la médecine, tandis que la chimie technique, la géologie et l'astronomie, sciences purement expérimentales, sont comptées parmi les *travaux philosophiques* d'une Académie dont la renommée est justement universelle.

On a tenté souvent, et presque toujours en vain, de substituer aux dénominations anciennes, vagues sans doute, mais aujourd'hui généralement comprises, des noms nouveaux et mieux formés. Ces changements ont été proposés surtout par ceux qui se sont occupés de la classification générale des connaissances humaines, depuis la grande Encyclopédie (*Margarita philosophica*) de Grégoire Reisch (19), prieur de la Chartreuse de Fribourg, vers la fin du quinzième siècle, jusqu'au chancelier Bacon, depuis Bacon jusqu'à d'Alembert, et, dans ces derniers temps, jusqu'à un physicien plein de sagacité, André-Marie Ampère (20). Le choix d'une nomenclature grecque peu appropriée a peut-être été plus nuisible encore à cette dernière tentative que l'abus des divisions binaires et l'excessive multiplicité des groupes.

La description physique du monde, en envisageant l'univers comme objet des sens extérieurs, a indubitablement besoin de l'aide de la physique générale et de l'histoire naturelle descriptive comme d'auxiliaires; mais la contemplation des choses créées, enchaînées entre elles et formant un *tout* animé par

des forces intérieures, donne à la science qui nous occupe dans cet ouvrage un caractère particulier. La physique s'arrête aux propriétés générales des corps ; elle est le produit de l'abstraction, la généralisation des phénomènes sensibles. Déjà, dans l'ouvrage où ont été jetés les premiers fondements de la physique générale, dans les huit livres physiques d'Aristote (21), tous les phénomènes de la nature sont considérés comme dépendant de l'action primitive et vitale d'une force unique, source de tout mouvement dans l'univers. La partie terrestre de la physique du monde, à laquelle je conserverais volontiers l'ancienne dénomination très-expressive de *Géographie physique*, traite de la distribution du magnétisme dans notre planète, selon les rapports d'intensité et de direction, mais ne s'occupe pas des lois qu'offrent les attractions ou les répulsions des pôles, ni des moyens de produire des courants électro-magnétiques permanents ou passagers. La géographie physique retrace à grands traits la configuration compacte ou articulée des continents, l'étendue de leur littoral comparée à leur surface, la répartition des masses continentales dans les deux hémisphères, répartition qui exerce une influence puissante sur la diversité des climats et les modifications météorologiques de l'atmosphère ; elle signale le caractère des chaînes de montagnes, qui, soulevées à différentes époques, forment des systèmes particuliers, tantôt parallèles entre eux, tantôt divergents et croisés ; elle examine la hauteur moyenne des continents au-dessus du niveau des mers et la po-

sition du centre de gravité de leur volume, le rapport entre le point culminant d'une chaîne de montagnes et la hauteur moyenne de sa crête ou sa proximité à un littoral voisin. Elle nous dépeint les roches d'éruption comme principes de mouvement, puisqu'elles agissent sur les roches sédimentaires qu'elles traversent, soulèvent et inclinent ; elle contemple les volcans selon qu'ils se trouvent isolés ou rangés par série tantôt simple, tantôt double, et étendant à diverses distances la sphère de leur activité, soit par les roches qu'ils produisent en coulées longues et étroi t e, soit en ébranlant le sol par cercles qui s'élargissent ou diminuent de diamètre dans la suite des siècles. La partie terrestre de la science du Cosmos décrit la lutte de l'élément liquide avec la terre ferme ; elle expose ce que toutes les grandes rivières ont de commun dans leur cours supérieur ou inférieur, dans leur bifurcation, lorsque leur bassin n'est pas encore entièrement fermé ; elle nous montre les fleuves brisant les plus hautes chaînes de montagnes ou suivant pendant longtemps un cours parallèle à ces chaînes, soit à leur pied, soit à de grandes distances, lorsque le soulèvement des couches d'un système de montagnes, la direction du ridement, est conforme à celle des bancs plus ou moins inclinés de la plaine. Les résultats généraux de l'*Orographie* et de l'*Hydrographie* comparées appartiennent seuls à la science dont j'ai à cœur de déterminer ici les limites réelles, mais non l'énumération des plus grandes hauteurs du globe, le tableau des

volcans encore actifs, des bassins de rivières ou de la multitude de leurs affluents. Ces détails sont du domaine de la géographie proprement dite. Nous ne considérons ici les phénomènes que dans leur dépendance mutuelle, dans les rapports qu'ils présentent avec les différentes zones de notre planète et sa constitution physique en général. Les spécialités de la matière brute ou organisée, classées d'après l'analogie de forme et de composition, offrent sans doute une étude du plus vif intérêt, mais elles tiennent à une sphère d'idées bien distinctes de celles qui font l'objet de cet ouvrage.

Des descriptions de pays divers offrent les matériaux les plus importants pour la composition d'une géographie physique; cependant la réunion de ces descriptions, rangées par séries, nous donnerait tout aussi peu l'image vraie, la conformation générale de la surface polyédrique de notre planète, que les flores des différentes régions placées les unes à la suite des autres ne formeraient ce que je désigne sous le nom de *Géographie des plantes*. C'est par l'application de la pensée aux observations isolées, c'est par les vues de l'esprit qui compare et combine, que nous parvenons à découvrir ce qui, dans l'individualité des formes organiques (dans la *Morphologie* ou histoire naturelle descriptive des plantes et des animaux), s'offre de commun par rapport à la distribution climatérique des êtres; c'est l'induction qui nous révèle les lois numériques dans la proportion des familles naturelles à la somme totale des es-

pèces, la latitude ou position géographique des zones où, dans les plaines, chaque forme organique atteint le maximum de son développement. Ces considérations assignent à la description physique du globe, par la généralisation des aperçus, un caractère élevé; elles nous font concevoir comment l'aspect du paysage, l'impression que nous laisse la physionomie de la végétation, dépend de cette répartition locale des formes, du nombre et de la croissance plus vigoureuse de celles qui prédominent dans la masse totale.

Les catalogues des êtres organisés, auxquels on donnait jadis le titre fastueux de *Systèmes de la nature*, nous montrent un admirable enchaînement d'analogies de structure, soit dans le développement déjà complet de ces êtres, soit dans les diverses phases que parcourent (selon les aperçus d'une *évolution* en spirale), d'un côté, les feuilles, les bractées, le calice, la corolle et les organes fécondateurs, de l'autre, avec plus ou moins de symétrie, les tissus cellulaires et fibreux des animaux, leurs parties articulées ou vaguement ébauchées; mais tous ces prétendus systèmes de la nature, ingénieux dans leurs classifications, ne nous font pas voir les êtres distribués en groupes dans l'espace, selon leurs divers rapports de latitude et de hauteur au-dessus du niveau de l'Océan, selon les influences climatériques qu'ils subissent en vertu de causes générales et le plus souvent très-lointaines. Le dernier but d'une géographie physique est cependant, comme nous l'avons énoncé plus haut, de reconnaître

l'unité dans l'immense variété des phénomènes, de découvrir, par le libre exercice de la pensée et par la combinaison des observations, la constance des phénomènes au milieu de leurs changements apparents. Si, dans l'exposé de la partie terrestre du Cosmos, on doit descendre quelquefois à des faits très-spéciaux, ce n'est que pour rappeler la connexité qu'ont les lois de la distribution réelle des êtres dans l'espace, avec les lois de la classification idéale par familles naturelles, par analogie d'organisation interne et d'évolution progressive.

Il résulte de ces discussions sur les limites des sciences, et en particulier sur la distinction nécessaire entre la botanique descriptive (morphologie des végétaux) et la géographie des plantes, que, dans la physique du globe, la multitude innombrable des corps organisés qui embellissent la création est plutôt considérée par *zones d'habitation* ou de *stations*, par *bandes isothermes* diversement infléchies, que selon les principes de gradation dans le développement de l'organisme intérieur; cependant, la botanique et la zoologie, qui composent l'histoire naturelle descriptive des corps organisés, n'en sont pas moins des sources fécondes offrant des matériaux sans lesquels l'étude des rapports et de l'enchaînement des phénomènes manquerait d'un fondement solide.

Nous ajouterons, pour mettre cet enchaînement dans tout son jour, une observation importante. Au premier abord, en embrassant d'un coup d'œil la végétation d'un continent dans de vastes espaces, on

voit les formes les plus dissemblables, les graminées et les orchidées, les arbres conifères et les chênes, rapprochés localement les uns des autres; on voit les familles naturelles et les genres, loin de former des associations locales, dispersés comme au hasard. Cette dispersion pourtant n'est qu'apparente. La description physique du globe nous montre que l'ensemble de la végétation présente numériquement, dans le développement de ses formes et de ses types, des rapports constants; que, sous les mêmes climats, les espèces qui manquent à un pays sont remplacées, dans le pays voisin, par des espèces d'une même famille, et que cette *loi des substitutions*, qui semble tenir aux mystères mêmes de l'organisme envisagé dans son origine, maintient dans des régions limitrophes la relation numérique des espèces de telle ou telle grande famille à la masse totale des phanérogames qui composent les deux flores. C'est ainsi que se révèle, dans la multiplicité des organisations distinctes qui les peuplent, un principe d'unité, un plan primitif de distribution; il se révèle aussi sous chaque zone, diversifiée selon les familles des plantes, une action lente, mais continue sur l'océan aérien, action qui dépend de l'influence de la lumière, première condition de toute vitalité organique à la surface solide et liquide de notre planète. On dirait que sous nos yeux se renouvelle sans cesse, selon une belle expression de Lavoisier, l'antique merveille du mythe de Prométhée.

Si nous appliquons la marche que nous comptons

suivre dans l'exposé de la description physique de la terre, à la partie sidérale de la science du Cosmos, à la description des espaces célestes et aux corps qui les peuplent, notre tâche se trouvera singulièrement simplifiée. Veut-on, selon d'anciennes habitudes de nomenclature, peu conformes à des aperçus philosophiques, distinguer la *physique*, c'est-à-dire les considérations générales sur l'essence de la matière et les forces qui lui impriment le mouvement, de la *chimie*, qui s'occupe de l'hétérogénéité des substances, de leur composition élémentaire, de leurs attractions, qui ne sont pas uniquement déterminées par les rapports des masses, il faut convenir que la description de la terre présente des actions *physiques* et *chimiques* à la fois. A côté de la gravitation, qu'on doit considérer comme la force primitive de la nature, agissent autour de nous, dans l'intérieur de notre planète ou à sa surface, des attractions d'un autre genre. Ce sont celles qui s'exercent entre les molécules en contact, ou éloignées à d'infiniment petites distances (22), des forces d'*affinité chimique*, qui, diversement modifiées par l'électricité, la chaleur, la condensation dans des corps poreux, ou le contact d'une substance intermédiaire, animent également le monde inorganique et les tissus des animaux et des plantes. Les espaces célestes n'offrent jusqu'ici à notre observation directe (si nous en exceptons les petits astéroïdes qui nous apparaissent sous les formes d'aérolithes, de bolides et d'étoiles filantes) que des phénomènes physiques, et parmi ceux-ci, avec certitude, que des ef-

fets dépendant de la quantité de matière ou de la distribution des masses. Les phénomènes des espaces célestes peuvent, par conséquent, être envisagés comme soumis à de simples lois dynamiques, aux lois du mouvement. Les effets qui pourraient naître de la différence spécifique, de l'hétérogénéité de la matière, ne sont pas jusqu'ici l'objet des calculs de la mécanique des cieux.

L'habitant de la terre n'entre en rapport avec la matière que contiennent les espaces célestes, qu'elle soit disséminée ou réunie en grands sphéroïdes, que par deux voies, par des phénomènes de lumière (la propagation des ondes lumineuses), ou par l'influence qu'exerce la gravitation universelle (l'attraction des masses). L'existence d'actions périodiques du soleil et de la lune sur les variations du magnétisme de la terre, est restée jusqu'à ce jour très-douteuse. Aucune expérience directe ne nous éclaire sur les propriétés ou qualités spécifiques des masses qui circulent dans les espaces célestes et sur celles des matières qui peut-être les remplissent entièrement, si ce n'est, comme nous venons de l'énoncer tantôt, la chute des aérolithes ou pierres météoriques qui viennent se mêler aux substances terrestres. Il suffit de rappeler ici, comme leur direction et leur énorme vitesse de projection (vitesse toute planétaire) le rendent plus que probable, que ces masses, enveloppées de vapeurs et arrivant à l'état d'incandescence, sont de petits corps célestes que l'attraction de notre planète a fait dévier de leur route primitive. L'aspect, si

familier pour nos yeux, de ces astéroïdes, l'analogie qu'ils offrent avec les minéraux qui composent la croûte de notre globe, ont sans doute de quoi surprendre ; mais tout ce que l'on doit en conclure, selon moi, c'est qu'en général les planètes et les autres masses qui, sous l'influence d'un corps central, se sont agglomérées en anneaux de vapeurs et puis en sphéroïdes, étant parties intégrantes d'un même système et ayant une même origine, peuvent offrir aussi une association de substances chimiquement identiques. Il y a plus encore. Les expériences du pendule, et particulièrement celles que Bessel a faites avec une si rare précision, confirment l'axiome newtonien, que les corps les plus hétérogènes dans leur composition (l'eau, l'or, le quartz, le calcaire grenu et différentes masses d'aérolithes) éprouvent, par l'attraction de la terre, une accélération entièrement semblable. Aux observations du pendule se joignent des preuves fournies par des observations purement astronomiques. La presque identité de la masse de Jupiter, déduite de l'action qu'exerce cette grande planète sur ses satellites, sur la comète d'Encke à courte période, et sur les petites planètes (Vesta, Junon, Cérès et Pallas), donne également la certitude que, dans les limites de nos observations actuelles, l'attraction est déterminée par la quantité seule de la matière (23).

Cette absence de toute perception de l'hétérogénéité de la matière obtenue par l'observation directe ou par des considérations théoriques, donne à la mécanique des cieux un haut degré de simplicité. L'é-

tendue incommensurable des espaces célestes étant assujettie à la seule science du mouvement, la partie sidérale du Cosmos puise dans les sources pures et fécondes de l'astronomie mathématique, comme la partie terrestre puise dans celles de la physique, de la chimie et de la morphologie organique; mais le domaine de ces trois dernières sciences embrasse des phénomènes tellement compliqués, et jusqu'à ce jour si peu susceptibles de méthodes rigoureuses, que la physique du globe ne saurait se glorifier ici de cette certitude, de cette simplicité dans l'exposition des faits et de leur enchaînement mutuel, qui caractérise la partie céleste du Cosmos. C'est peut-être par la différence que nous signalons en ce moment, qu'on doit expliquer pourquoi, dans les premiers temps de la culture intellectuelle des Grecs, la philosophie de la nature des Pythagoriciens se tourna avec plus d'ardeur vers les astres et les espaces célestes que vers la terre et ses productions; pourquoi, par Philolaüs, et, dans la suite, par les vues analogues d'Aristarque de Samos et de Séleucus d'Erythres, elle est devenue plus profitable à la connaissance du véritable système du monde, que la philosophie de la nature de l'école ionienne n'a jamais pu l'être à la physique de la terre. Peu attentive aux propriétés et aux différences spécifiques des matières qui remplissent les espaces, la grande école italique, dans sa gravité dorienne, portait de préférence ses regards vers tout ce qui tient aux mesures, à la configuration des corps, aux distances des planètes et aux nombres (24), tandis que les

physiciens d'Ionie s'arrêtaient aux qualités de la matière, à ses transformations vraies ou supposées, et à ses rapports d'origine. Il était réservé à la puissance du génie d'Aristote, si profondément spéculatif et pratique à la fois, d'approfondir avec le même succès le monde des abstractions et ce monde des réalités matérielles qui renferme d'intarissables sources de mouvement et de vie.

Plusieurs traités de géographie physique, et des plus distingués, offrent dans leurs introductions une partie exclusivement astronomique, tendant à faire envisager d'abord la terre dans sa dépendance planétaire, et comme faisant partie du grand système qu'anime le corps central du soleil. Cette marche des idées est diamétralement opposée à celle que je me propose de suivre. Pour bien saisir la grandeur du Cosmos, il ne faut pas subordonner la partie sidérale, que Kant a appelée l'*histoire naturelle du ciel*, à la partie terrestre. Dans le Cosmos, selon l'antique expression d'Aristarque de Samos, qui préludait au système de Copernic, le soleil (avec ses satellites) n'est qu'une des étoiles innombrables qui remplissent les espaces. La description de ces espaces, la physique du monde, ne peut commencer que par les corps célestes, par le tracé graphique de l'univers, je dirai par une véritable *carte du monde*, telle que, d'une main hardie, Herschel le père a osé la figurer. Si, malgré la petitesse de notre planète, ce qui la concerne exclusivement occupe dans cet ouvrage la place la plus considérable, et s'y trouve développé

avec le plus de détail, cela tient uniquement à la disproportion de nos connaissances entre ce qui est accessible à l'observation et ce qui s'y refuse. Cette subordination de la partie céleste à la partie terrestre se rencontre déjà dans le grand ouvrage de Bernard Varenius (25), qui a paru au milieu du dix-septième siècle. Il distingua le premier la géographie en *générale* et *spéciale*, subdivisant celle-là en partie *absolue*, c'est-à-dire proprement *terrestre*, et en partie *relative* ou *planétaire*, selon qu'on envisage la surface de la terre dans ses différentes zones, ou bien les rapports de notre planète avec le soleil et la lune. C'est un beau titre de gloire pour Varenius, que sa *Géographie générale et comparée* ait pu fixer à un haut degré l'attention de Newton. L'état imparfait des sciences auxiliaires dans lesquelles il devait puiser ne pouvait pas répondre à la grandeur de l'entreprise. Il était réservé à notre temps et à ma patrie de voir tracer par Charles Ritter le tableau de la géographie comparée dans toute son étendue et dans son intime relation avec l'histoire de l'homme (26).

L'énumération des résultats les plus importants des sciences astronomiques et physiques qui, dans le Cosmos, rayonnent vers un foyer commun, légitime jusqu'à un certain point le titre que j'ai donné à mon ouvrage. Peut-être même ce titre est-il plus téméraire que l'entreprise elle-même, circonscrite dans les limites que je lui ai posées. L'introduction de noms nouveaux, surtout lorsqu'il s'agit d'aperçus généraux, d'une science qui doit être accessible à tous, a été jus-

qu'ici très-contraire à mes habitudes : je n'ai ajouté à la nomenclature que là où, dans les spécialités de la botanique et de la zoologie descriptives, des objets décrits pour la première fois rendaient indispensables de nouveaux termes. Les dénominations *Description physique du monde*, ou *Physique du monde*, dont je me sers indifféremment, sont formées sur celles de *Description physique de la terre*, ou *Physique du globe*, c'est-à-dire *Géographie physique*, depuis longtemps passées dans l'usage. Un des plus puissants génies de tous les siècles, Descartes, nous a laissé quelques fragments du grand ouvrage qu'il comptait publier sous le titre de *Monde*, et pour lequel il s'était livré à des études spéciales, même à celle de l'anatomie de l'homme. L'expression peu usitée, mais précise, de *Science du Cosmos*, rappelle à l'esprit de l'habitant de la terre qu'il s'agit ici d'un horizon plus vaste, de la réunion de tout ce qui remplit l'espace, depuis les nébuleuses les plus lointaines jusqu'à la distribution climatérique de ces légers tissus de matière végétale, qui, diversement colorés, tapissent les rochers.

Sous l'influence des vues bornées propres à l'enfance des peuples, les idées de *terre* et de *monde* ont été confondues de bonne heure dans l'usage de toutes les langues. Les expressions vulgaires : *Voyages autour du monde*, *mappemonde*, *nouveau monde*, offrent des exemples de cette confusion. Les expressions plus précises et plus nobles de *Système du monde*, *monde planétaire*, *création* et *âge du monde*,

se rapportent les unes à la totalité des matières qui remplissent les espaces célestes, les autres à l'origine de l'univers entier.

Il paraît naturel qu'au milieu de l'extrême variabilité des phénomènes qu'offrent la surface de notre globe et l'océan aérien qui l'entoure, l'homme ait été frappé de l'aspect de la voûte céleste, des mouvements réglés et uniformes du soleil et des planètes. Aussi le mot *Cosmos* indiquait-il primitivement, dans les temps homériques, les idées d'*ornement* et d'*ordre* à la fois. Il a passé plus tard dans le langage scientifique. On l'appliqua progressivement à l'accord que l'on observe dans les mouvements des corps célestes, à l'ordre qui règne dans l'univers entier, au monde même dans lequel cet ordre se reflète. D'après l'assertion de Philolaüs, dont M. Bœckh a commenté les fragments avec une si rare sagacité, comme d'après le témoignage général de l'antiquité entière, c'est Pythagore qui, le premier, se servit du mot Cosmos, pour désigner « l'ordre qui règne dans l'univers, l'univers ou le monde même (27). » De l'école de la philosophie italique, l'expression passa en ce sens dans la langue des poëtes de la nature, Parménide et Empédocle, de là dans l'usage des prosateurs. Nous ne discuterons pas ici comment, selon ces mêmes vues pythagoriciennes, Philolaüs distingue une fois entre l'Olympe, Uranus ou le Ciel, et le Cosmos; comment le même mot, avec un sens de pluralité, a été appliqué à certains corps célestes (les planètes) circulant autour du *foyer central du monde*, ou à des

groupes d'étoiles. Dans mon ouvrage, le mot Cosmos est employé comme le prescrivent l'usage hellénique postérieur à Pythagore et la définition très-précise donnée dans le *Traité du monde*, qui a été faussement attribué à Aristote. C'est l'ensemble du ciel et de la terre, l'universalité des choses qui composent le monde sensible. Si, depuis longtemps, les noms des sciences n'avaient été détournés de leur véritable signification linguistique, l'ouvrage que je publie devrait avoir le titre de *Cosmographie*, divisée en *Uranographie* et *Géographie*. Les Romains, imitateurs des Grecs, dans leurs faibles essais de philosophie, ont aussi fini par transporter à l'*univers* la signification de leur *mundus*, qui n'indiquait primitivement que la *parure*, l'*ornement*, non pas même l'ordre ou la régularité dans la disposition des parties. Il est probable que l'introduction de ce terme technique dans la langue du Latium, que l'importation d'un équivalent de *Cosmos* selon sa double signification, est due à Ennius (28), sectateur de l'école italique, traducteur des philosophèmes pythagoriciens d'Epicharme ou de quelqu'un de ses adeptes.

Nous distinguerons d'abord entre l'*histoire physique du monde* et la *description physique du monde*. La première, conçue dans le sens le plus général du mot, devrait, si les matériaux existaient pour l'écrire, tracer les variations qu'a subies l'univers dans le cours des âges, depuis les étoiles nouvelles qui soudainement ont paru et disparu à la voûte du firma-

ment, depuis les nébuleuses qui se dissolvent ou se condensent, jusqu'à la première couche de végétation cryptogame dont s'est couvert, soit le globe à peine refroidi à sa surface, soit un écueil de coraux soulevé du sein des mers. La *description physique du monde* offre le tableau de ce qui coexiste dans l'espace, de l'action simultanée des forces de la nature et des phénomènes qu'elles produisent. Mais, pour bien comprendre la nature, on ne saurait séparer entièrement, et d'une manière absolue, la considération de l'état actuel des choses, de celle des phases successives par lesquelles elles ont passé. On ne peut concevoir leur essence sans réfléchir sur le mode de leur formation. Ce n'est pas la matière organique seule qui perpétuellement se compose et se dissout pour former de nouvelles combinaisons; le globe, à chaque phase de sa vie, nous révèle le mystère de ses états antérieurs.

On ne peut jeter les yeux sur la croûte de notre planète, sans rencontrer les traces d'un monde organique détruit. Les roches de sédiment présentent une succession d'êtres qui se sont associés par groupes, exclus et remplacés mutuellement. Ces bancs superposés les uns aux autres nous dévoilent les faunes et les flores de différentes époques. Dans ce sens la description de la nature est intimement liée à son histoire. Le géologue ne peut concevoir le temps présent sans remonter, guidé qu'il est par l'enchaînement des observations, à des milliers de siècles écoulés. En traçant le tableau physique du

globe, nous voyons, pour ainsi dire, le présent et le passé se pénétrer réciproquement; car il en est du domaine de la nature comme du domaine des langues, dans lesquelles les recherches étymologiques nous font voir aussi un développement successif, nous montrent tout l'état antérieur d'un idiome reflété dans les formes dont on se sert de nos jours. Ce reflet du passé est d'autant plus manifeste dans l'étude du monde matériel, que nous voyons naître sous nos yeux des roches d'éruption et des couches sédimentaires semblables à celles des âges antérieurs. Pour emprunter un exemple frappant aux rapports géologiques qui déterminent la physionomie d'un pays, je rappellerai ici que les dômes de trachyte, les cônes de basalte, les coulées d'amygdaloïde à pores allongés et parallèles, de blancs dépôts de ponces entremêlés de scories noires, animent, pour ainsi dire, le paysage, par les souvenirs du passé. Ces masses agissent sur l'imagination de l'observateur instruit, comme le feraient des traditions d'un monde antérieur. La forme des roches est leur histoire.

Le sens dans lequel les Grecs et les Romains ont employé originairement le mot *histoire*, prouve qu'eux aussi avaient la conviction intime que, pour se former une idée complète de l'état actuel des choses, il fallait les considérer dans leur succession. Ce n'est pas toutefois dans la définition donnée par Verrius Flaccus (29), c'est dans les écrits zoologiques d'Aristote que le mot *histoire* se présente comme un

exposé des résultats de l'expérience et de l'observation. La description physique du monde de Pline l'Ancien porte le titre d'*Histoire naturelle;* dans les lettres de son neveu elle est appelée, d'une manière plus noble « Histoire de la nature. » Les premiers historiens parmi les Grecs ne séparaient point encore les descriptions des pays de la narration des événements dont ils avaient été le théâtre. Chez eux, la géographie physique et l'histoire formèrent une étroite alliance; elles restèrent mêlées, d'une manière naïve et gracieuse, jusqu'à l'époque où le grand développement de l'intérêt politique, et la perpétuelle agitation de la vie des citoyens, firent disparaître dans l'histoire des peuples l'élément géographique, pour en faire dès lors une science à part.

Il reste à examiner si, par l'opération de la pensée, on peut espérer de réduire l'immensité des phénomènes divers que comprend le Cosmos à l'unité d'un principe, à l'évidence des vérités rationnelles. Dans l'état actuel de nos connaissances empiriques, nous n'osons nous flatter d'un tel espoir. Les sciences expérimentales, fondées sur l'observation du monde extérieur, ne sauraient aspirer au complet; la nature des choses et l'imperfection de nos organes s'y opposent également. Jamais on ne parviendra à épuiser l'inépuisable richesse de la nature, et aucune génération ne pourra se vanter d'avoir embrassé la totalité des phénomènes. Ce n'est qu'en les distribuant par groupes qu'on est parvenu, dans quelques-uns de ceux-ci, à découvrir l'empire de certaines lois de la

nature, simples et grandes comme elle. L'étendue de cet empire augmentera sans doute à mesure que les sciences physiques s'agrandiront et se perfectionneront progressivement. D'éclatants exemples de ces progrès ont été donnés de nos jours dans les phénomènes électro-magnétiques, dans ceux que présentent la propagation des ondes lumineuses et le calorique rayonnant. De même la doctrine féconde de l'évolution nous fait voir comment, dans les développements organiques, tout ce qui se forme est ébauché d'avance, comment les tissus des matières végétales et animales naissent uniformément de la multiplication et de la transformation des cellules.

La généralisation des lois qui d'abord, dans des cercles plus étroits, n'avaient été appliquées qu'à quelques groupes isolés de phénomènes, offre, avec le temps, des gradations de plus en plus marquées; elle gagne en étendue et en évidence tant que le raisonnement s'attache à des phénomènes d'une nature réellement analogue; mais dès que les aperçus dynamiques ne suffisent plus, partout où les propriétés spécifiques de la matière et son hétérogénéité sont en jeu, il est à craindre qu'en nous obstinant à la poursuite des lois, nous ne trouvions sous nos pas des abîmes infranchissables. Le principe d'unité cesse de se faire sentir, le fil se brise là où se manifeste, parmi les forces de la nature, une action d'un genre particulier. La loi des équivalents et des proportions numériques de composition, si heureusement reconnue par les chimistes modernes, proclamée sous

l'antique forme de symboles atomistiques, reste encore isolée, indépendante des lois mathématiques du mouvement et de la gravitation.

Les productions de la nature, objets de l'observation directe, peuvent être distribuées logiquement par classes, par ordres ou familles. Les tableaux de ces distributions répandent, à n'en pas douter, du jour sur l'histoire naturelle descriptive; mais l'étude des corps organisés et leur enchaînement linéaire, tout en donnant plus d'unité et de simplicité à la distribution des groupes, ne peuvent pas s'élever à une classification fondée sur un seul principe de composition et d'organisation intérieure. De même que les lois de la nature présentent différentes gradations, selon l'étendue des horizons ou des cercles de phénomènes qu'elles embrassent, de même aussi l'exploration du monde extérieur a des phases différemment graduées. L'empirisme commence par des aperçus isolés que l'on groupe selon leur analogie et leur dissemblance. A l'acte de l'observation directe succède, mais bien tard, le désir d'expérimenter, c'est-à-dire de faire naître des phénomènes sous différentes conditions déterminées. L'expérimentateur rationnel n'agit pas au hasard; il est guidé par des hypothèses qu'il s'est formées, par un pressentiment à demi instinctif et plus ou moins juste de la liaison des choses ou des forces de la nature. Ce qui a été conquis par l'observation ou par la voie des expériences conduit, par l'analyse et par l'induction, à la découverte de lois empiriques. Ce sont là les phases que l'intelli-

gence humaine a parcourues et qui ont marqué différentes époques dans la vie des peuples ; c'est en suivant cette route qu'on est parvenu à réunir cette masse de faits qui constituent aujourd'hui la base solide des sciences de la nature.

Deux formes d'abstraction dominent l'ensemble de nos connaissances : des rapports de *quantité*, relatifs aux idées de nombre ou de grandeur ; et des rapports de *qualité*, qui embrassent les propriétés spécifiques, l'hétérogénéité de la matière. La première de ces formes, plus accessible à l'exercice de la pensée, appartient au savoir mathématique ; l'autre forme, plus difficile à saisir, et plus mystérieuse en apparence, est du domaine des sciences chimiques. Pour soumettre les phénomènes au calcul, on a recours à une construction hypothétique de la matière par combinaison de molécules et d'atomes, dont le nombre, la forme, la position et la polarité doivent déterminer, modifier, varier les phénomènes. Les mythes de matières impondérables et de certaines forces vitales propres à chaque mode d'organisation, ont compliqué les aperçus et répandu une lumière douteuse sur la route à parcourir. C'est sous des conditions et des formes d'intuition si diverses, que s'est accumulée, à travers les siècles, la masse prodigieuse de nos connaissances empiriques, et qu'elle augmente de nos jours avec une rapidité croissante. L'esprit scrutateur de l'homme essaye de temps en temps, et avec un succès très-inégal, de briser des formes surannées, des symboles inventés pour sou-

mettre la matière rebelle aux constructions mécaniques.

Nous sommes encore bien éloignés de l'époque où il sera possible de réduire, par les opérations de la pensée, à l'unité d'un principe rationnel, tout ce que nous apercevons au moyen des sens. On peut même mettre en doute si un tel succès, dans le champ de la philosophie de la nature, sera jamais obtenu. La complication des phénomènes et l'étendue immense du Cosmos paraissent s'y opposer : mais, lors même que le problème serait insoluble dans son ensemble, une solution partielle, la tendance vers l'intelligence du monde, n'en demeure pas moins le but éternel et sublime de toute observation de la nature. Fidèle au caractère des ouvrages que j'ai publiés jusqu'ici, comme aux travaux de mesures, d'expériences, de recherches de faits qui ont rempli ma carrière, je me borne au cercle des conceptions empiriques.

L'exposition d'un ensemble de faits observés et combinés entre eux n'exclut pas le désir de grouper les phénomènes selon leur enchaînement rationnel, de généraliser ce qui en est susceptible dans la masse des observations particulières, d'arriver à la découverte des lois. Des conceptions de l'univers qui seraient uniquement fondées sur la raison, sur les principes de la philosophie spéculative, assigneraient sans doute à la science du Cosmos un but plus élevé. Je suis loin de blâmer des efforts que je n'ai pas tentés, de les blâmer par la seule raison que leur succès est resté

jusqu'ici très-douteux. Contre le gré et les conseils de ces penseurs profonds et puissants qui ont donné une vie nouvelle à des spéculations déjà familières à l'antiquité, les systèmes de la philosophie de la nature ont éloigné les esprits, dans notre patrie, pendant quelque temps, des graves études des sciences mathématiques et physiques. L'enivrement de prétendues conquêtes déjà faites, un langage nouveau bizarrement symbolique, une prédilection pour des formules de rationalisme scolastique plus étroites que jamais n'en connut le moyen âge, ont signalé, par l'abus des forces chez une jeunesse généreuse, les courtes saturnales d'une science purement idéale de la nature. Je répète l'expression abus des forces, car des esprits supérieurs, adonnés à la fois aux études philosophiques et aux sciences d'observation, sont restés étrangers à ces saturnales. Les résultats obtenus par de sérieuses investigations dans la voie de l'expérience, ne sauraient être en contradiction avec une véritable philosophie de la nature. Lorsqu'il y a contradiction, la faute en est, ou au vide de la spéculation, ou aux prétentions exagérées de l'empirisme qui croit avoir prouvé par l'expérience bien plus qu'il n'en découle réellement.

Qu'on oppose la nature au monde intellectuel, comme si ce dernier n'était pas compris dans le vaste sein de cette nature, ou bien qu'on l'oppose à l'art, défini comme une manifestation de la puissance intellectuelle de l'humanité, ces contrastes, reflétés dans les langues les plus cultivées, ne doi-

vent pas pour cela conduire à un divorce entre la nature et l'intelligence, divorce qui réduirait la physique du monde à n'être plus qu'un assemblage de spécialités empiriques. La science ne commence pour l'homme qu'au moment où l'esprit s'empare de la matière, où il tâche de soumettre la masse des expériences à des combinaisons rationnelles. La science est l'esprit appliqué à la nature; mais le monde extérieur n'existe pour nous qu'autant que, par la voie de l'intuition, nous le réfléchissons en notre intérieur. De même que l'intelligence et les formes du langage, la pensée et le signe, sont unis par des liens secrets et indissolubles, de même aussi le monde extérieur se confond, presque à notre insu, avec nos idées et nos sentiments. Les phénomènes extérieurs, dit Hégel dans la *Philosophie de l'histoire*, sont en quelque sorte traduits dans nos représentations internes. Le monde *objectif* pensé par nous, en nous réfléchi, est soumis aux formes éternelles et nécessaires de notre être intellectuel. L'activité de l'esprit s'exerce sur les éléments qui lui sont fournis par l'observation sensible. Aussi, dès la jeunesse de l'humanité, se découvre, dans la plus simple intuition des faits naturels, dans les premiers efforts tentés pour les comprendre, le germe de la philosophie de la nature. Ces tendances idéales sont diverses et plus ou moins fortes, selon les individualités des races, leurs dispositions morales et le degré de culture auquel un peuple s'est élevé au milieu d'une nature qui excite l'imagination ou l'éteint tristement.

L'histoire nous a conservé le souvenir du grand nombre des formes sous lesquelles on a tenté de concevoir rationnellement le monde entier des phénomènes, de reconnaître dans l'univers l'action d'une seule force motrice qui pénètre la matière, la transforme et la vivifie. Ces essais remontent, dans l'antiquité classique, aux traités sur les principes des choses propres à l'école ionienne, traités où, en s'appuyant sur un petit nombre d'observations, on osa soumettre l'ensemble de la nature à des spéculations téméraires. A mesure que, par l'influence de grands événements historiques, toutes les sciences se sont développées en s'appuyant sur l'observation, on a vu se refroidir aussi l'ardeur qui portait à déduire l'essence des choses et leur connexité de constructions purement idéales et de principes tout rationnels. Dans des temps plus rapprochés de nous, c'est surtout la partie mathématique de la philosophie naturelle qui a reçu d'admirables accroissements. La méthode et l'instrument (l'analyse) ont été perfectionnés à la fois. Nous pensons que ce qui a été conquis par des moyens si divers, par l'application ingénieuse de suppositions atomistiques, par l'étude plus générale et plus intime des phénomènes, et par le perfectionnement d'appareils nouveaux, est le bien commun de l'humanité, et ne doit pas plus aujourd'hui que chez les anciens, être soustrait à la libre action de la pensée spéculative.

On ne saurait nier toutefois que, dans le travail de la pensée, les résultats de l'expérience n'aient eu

plus d'un danger à courir. Dans la vicissitude perpétuelle des vues théoriques, il ne faut pas trop s'étonner, comme le dit spirituellement l'auteur de *Giordano Bruno* (30), « si la plupart des hommes ne voient dans la philosophie qu'une succession de météores passagers, et si les grandes formes qu'elle a revêtues partagent le sort des comètes, que le peuple ne range pas parmi les œuvres éternelles et permanentes de la nature, mais parmi les fugitives apparitions de vapeurs ignées. » Hâtons-nous d'ajouter que l'abus de la pensée et les fausses voies dans lesquelles elle s'engage, ne sauraient autoriser une opinion qui tendrait à flétrir l'intelligence, savoir que le monde des idées n'est de sa nature qu'un monde de fantômes et de rêveries, et que les richesses accumulées par de laborieuses observations ont, dans la philosophie, une puissance ennemie qui les menace. Il ne sied pas à l'esprit qui caractérise notre temps de rejeter avec méfiance toute généralisation des aperçus, tout essai d'approfondir les choses par la voie du raisonnement et de l'induction. Ce serait méconnaître la dignité de la nature humaine et l'importance relative des facultés dont nous sommes doués, que de condamner, tantôt la raison austère qui se livre à l'investigation des causes et de leur enchaînement, tantôt cet essor de l'imagination qui prélude aux découvertes et les suscite par son pouvoir créateur.

TABLEAU DE LA NATURE.

VUE GÉNÉRALE DES PHÉNOMÈNES.

Lorsque l'esprit humain s'enhardit jusqu'à vouloir dominer le monde matériel, c'est-à-dire l'ensemble des phénomènes physiques, lorsqu'il tente de faire rentrer dans le domaine de sa pensée la nature entière avec la riche plénitude de sa vie, et l'action des forces ou libres ou cachées qui l'animent, les limites de son horizon s'évanouissent dans le lointain, et, des hauteurs où il s'est élevé, les individualités ne lui apparaissent plus que groupées par masses et comme voilées par une brume légère. Tel est le point de vue où nous voulons nous placer pour envisager l'univers et pour tenter de décrire, dans leur ensemble, la sphère des cieux et le monde terrestre. Je ne me suis point dissimulé l'audace d'une pareille tentative, car entre toutes les formes d'exposition auxquelles ces feuilles sont consacrées, l'essai d'un tableau général de la nature est d'autant plus difficile, qu'au lieu de nous borner à décrire en détail les richesses de ses formes si variées, nous nous proposons d'en peindre les grandes masses, soit que leurs contours aient une existence réelle, soit que les divisions résultent de la nature même de nos conceptions. Pour que cette œuvre réponde à la dignité de la belle expression de

Cosmos, qui signifie l'ordre dans l'univers et la magnificence dans l'ordre, il faut qu'elle embrasse et qu'elle décrive le grand Tout (τὸ πᾶν); il faut classer et coordonner les phénomènes, pénétrer le jeu des forces qui les produisent, peindre enfin, par un langage animé, une image vivante de la réalité. Puisse l'infinie variété des éléments dont se compose le tableau de la nature ne pas nuire à cette impression harmonieuse de calme et d'unité, dernier but de toute œuvre littéraire ou purement artistique!

Des profondeurs de l'espace occupées par les nébuleuses les plus éloignées, nous descendrons par degrés à cette zone d'étoiles dont notre système solaire fait partie, au sphéroïde terrestre avec son enveloppe gazeuse et liquide, avec sa forme, sa température et sa tension magnétique, jusqu'aux êtres doués de la vie que l'action fécondante de la lumière développe à sa surface. Sur ce tableau du monde, il nous faudra peindre à grands traits les espaces infinis des cieux, et tracer l'esquisse des microscopiques existences du règne organique qui se développent dans les eaux stagnantes ou sur les croupes de nos rochers. Les richesses d'observation qu'une étude sévère de la nature a su accumuler jusqu'à notre époque, forment les matériaux de cette vaste représentation, dont le caractère principal doit être de porter en elle-même le témoignage de sa fidélité. Mais dans les conditions posées par les prolégomènes, un tableau descriptif de la nature ne saurait comprendre les détails et les individualités considérées hors de l'ensemble; ce serait

nuire à l'effet général de cette œuvre, que d'y vouloir énumérer toutes les formes où la vie se révèle, tous les faits, toutes les lois de la nature. La tendance à fractionner indéfiniment l'ensemble de nos connaissances est un écueil que le philosophe doit savoir éviter, sous peine de s'égarer dans la foule des détails accumulés par un empirisme souvent irréfléchi. D'ailleurs, nous ignorons encore une partie notable des propriétés de la matière, ou, pour parler un langage plus conforme à la philosophie naturelle, il nous reste à découvrir des séries entières de phénomènes dépendant de forces dont nous n'avons actuellement aucune idée, et cette lacune seule suffirait à rendre incomplète toute représentation unitaire de la totalité des faits naturels. Aussi, au sein même de la jouissance qu'inspire le tableau de ses conquêtes, l'esprit inquiet, peu satisfait du présent, éprouve-t-il comme une sorte de malaise en cédant au désir énergique qui le pousse incessamment vers les régions de la science encore inexplorées. Ces aspirations de notre âme nouent plus fortement le lien qui unit le monde sensible au monde idéal en vertu des lois suprêmes de l'intelligence ; elles vivifient cette relation mystérieuse « de l'impression que notre âme reçoit du monde extérieur, à l'acte qui la réfléchit du sein de ses profondeurs mêmes. »

En outre, puisque la nature prise pour l'ensemble des êtres et des phénomènes est illimitée quant à ses contours et à son contenu, elle nous pose un problème que toute la capacité humaine ne saurait

embrasser, problème insoluble, car il exige la connaissance générale de toutes les forces qui agissent dans l'univers. On peut faire un pareil aveu quand on se propose, pour unique objet des recherches immédiates, les lois des êtres ou de leurs développements, et quand on s'astreint à suivre une seule voie, celle de l'expérience guidée par une méthode d'induction rigoureuse. Il est vrai, on renonce ainsi à satisfaire la tendance qui nous porte à embrasser la nature dans son universalité, et à pénétrer l'essence même des choses; mais l'histoire des théories générales sur le monde, que nous avons réservée pour une autre partie de cet ouvrage, prouve que l'humanité peut seulement prétendre à une connaissance partielle, mais de plus en plus approfondie, des lois générales de l'univers. Il s'agit donc ici de peindre l'ensemble des résultats acquis, en restant au point de vue de l'actualité, tant pour la mesure et pour les limites, que pour l'étendue de ce tableau. Or, quand il s'agit des mouvements et des transformations qui s'effectuent dans l'espace, le but final de nos recherches est surtout la *détermination numérique des valeurs moyennes* qui constituent l'expression des lois physiques elles-mêmes; ces *nombres moyens* nous représentent ce qu'il y a de constant dans les phénomènes variables, ce qu'il y a de fixe dans la fluctuation perpétuelle des apparences. C'est ainsi que les progrès actuels de la physique se produisent presque exclusivement par voie de mesures et de pesées, dans le but d'obtenir

ou de corriger les valeurs numériques moyennes de certaines grandeurs. On dirait que les nombres ; ces derniers hiéroglyphes qui subsistent encore dans notre écriture, constituent de nouveau pour nous, mais dans une acception beaucoup plus étendue, ce qu'ils étaient autrefois pour l'école italique, les forces mêmes du Cosmos.

Le savant aime la simplicité de ces rapports numériques qui expriment les dimensions du ciel visible, la grandeur des corps célestes, leurs perturbations périodiques, les trois éléments du magnétisme terrestre, la pression atmosphérique et la quantité de chaleur que le soleil verse en chaque saison de l'année sur tous les points de nos continents ou de nos mers. Mais ils ne sauraient suffire au poëte de la nature, et moins encore à la multitude curieuse; la science contemporaine leur paraît avoir fait fausse route, parce qu'elle ne répond plus que par le doute à une foule de questions qu'on s'imaginait autrefois pouvoir faire rentrer dans son domaine, si même elle ne les déclare absolument insolubles. Il faut l'avouer, sous une forme plus sévère, avec des limites plus étroites, la science actuelle est dépourvue de cet attrait décevant de l'ancienne physique, dont les dogmes et les symboles étaient si propres à égarer la raison en donnant carrière à l'imagination la plus ardente. Du haut des rivages des Canaries ou des Açores, on croyait apercevoir, longtemps avant la découverte du Nouveau-Monde, des terres situées à l'Occident. C'était une

illusion produite, non par le jeu d'une réfraction extraordinaire, mais par cette ardeur qui nous entraîne au delà de notre portée. La philosophie naturelle des Grecs, la physique du moyen âge et même celle des derniers siècles offrent plus d'un exemple analogue de cette illusion de l'esprit qui se crée, pour ainsi dire, des fantômes aériens. On dirait qu'aux limites de nos connaissances, comme du haut des rivages des dernières îles, le regard troublé cherche à se reposer sur l'aspect des contrées lointaines ; puis la tendance au merveilleux, au surnaturel, prête une forme déterminée à chaque manifestation de cette puissance de création idéale dont l'homme est doué, et le domaine de l'imagination, où règnent en souverains les songes cosmologiques, géognostiques, magnétiques, empiète ainsi constamment sur celui de la réalité.

Sous quelque aspect qu'on veuille considérer la nature, qu'elle soit l'ensemble des êtres et de leurs développements successifs ou bien cette force intérieure d'où naît le mouvement, ou le type mystérieux auquel se rattachent toutes les apparences, l'impression qu'elle produit sur nous a toujours quelque chose de terrestre. Nous ne reconnaissons même notre patrie que là où commence le règne de la vie organique; comme si l'image de la nature s'associait nécessairement dans notre âme à celle de la terre, parée de ses fleurs et de ses fruits, animée par les innombrables races d'animaux qui vivent à sa surface. L'aspect du firmament et l'immensité des es-

paces célestes forment un tableau où la grandeur des masses, le nombre des soleils diversement groupés, les pâles nébuleuses elles-mêmes peuvent bien exciter notre étonnement ou notre admiration; mais nous nous sentons étrangers à ces mondes où règne une solitude apparente, et qui ne peuvent faire naître l'impression immédiate par laquelle la vie organique nous rattache à la terre. Aussi, toutes les conceptions physiques de l'homme, même les plus modernes, ont-elles toujours séparé le ciel de la terre comme en deux régions, l'une supérieure, l'autre inférieure. Si donc, pour peindre le tableau de la nature, on choisissait le point de vue où nous placent nos sens, il faudrait commencer par le sol même qui nous porte, décrire le globe terrestre, sa forme et ses dimensions, sa densité et sa température croissant vers le centre; séparer les couches superposées, tant fluides que solides; distinguer les continents d'avec les mers, peindre la vie organique développant partout sa trame, envahissant la surface et peuplant les profondeurs; et cet océan aérien perpétuellement agité par les courants, au fond duquel surgissent, comme autant de bas-fonds et d'écueils, les hautes chaînes de nos montagnes couronnées de forêts. Après ce tableau, dont notre globe seul aurait fourni tous les traits, le regard s'élèverait vers les espaces célestes, et la terre, domaine désormais bien connu de la vie organique, serait alors considérée comme planète; elle prendrait son rang parmi les autres globes, satellites comme elle d'un de ces

astres sans nombre qui brillent de leur propre lumière. Cette série d'idées a tracé la voie des premières théories générales qui ont pris leur point de départ dans nos sensations ; elle rappellerait presque cette antique conception d'une terre environnée de tous côtés par les eaux et portant la voûte céleste ; elle débute sur le lieu même de l'observateur, elle part du connu pour aller à l'inconnu, de ce qui nous touche et nous presse pour atteindre aux limites de notre portée. C'est la méthode mathématiquement très-fondée que l'on suit dans l'exposition des théories astronomiques, lorsqu'on passe des mouvements apparents aux mouvements réels des corps célestes.

Mais s'il s'agit d'exposer l'ensemble de nos connaissances dans ce qu'elles ont d'arrêté et de positif, ou même dans ce qui est actuellement probable à divers degrés, sans s'astreindre toutefois à en développer la démonstration, il faut recourir à un ordre d'idées tout différent, et renoncer surtout à ce point de départ terrestre, dont l'importance dans la généralité est exclusivement relative à l'homme. La terre ne doit plus d'abord apparaître que comme un détail subordonné à l'ensemble dont elle fait partie ; il faut se garder d'amoindrir le caractère de grandeur d'une telle conception par des motifs puisés dans la proximité de certains phénomènes particuliers, dans leur influence plus intime, dans leur utilité plus directe. Une description physique du monde, c'est-à-dire un tableau général de la nature, doit donc commencer

par le ciel et non par notre terre ; mais à mesure que la sphère embrassée par le regard se rétrécira, nous verrons s'augmenter la richesse des détails, nous verrons les apparences physiques se compléter, les propriétés spécifiques de la matière se multiplier. De ces régions où la seule force dont il nous soit donné de constater l'existence est celle de la gravitation, nous descendrons graduellement jusqu'à notre planète, et nous aborderons enfin le jeu compliqué des forces qui règnent à sa surface. La méthode descriptive que je viens d'esquisser est l'inverse de celle qui en a fourni les matériaux ; la première énumère et classe ce que la seconde a démontré.

Par ses organes, l'homme se met en rapport avec la nature. L'existence de la matière dans les profondeurs du ciel nous est révélée par les phénomènes lumineux ; on peut dire ainsi que l'œil est l'organe de la contemplation de l'univers, et la découverte de la vision télescopique, qui date à peine de deux siècles et demi, a doué les générations actuelles d'une puissance dont elles ignorent encore les limites.

Les premières et les plus générales parmi les considérations qui forment la science du Cosmos, ont trait à la répartition, dans les espaces, de la matière ou de la création, pour employer le terme qui sert d'ordinaire à désigner l'ensemble actuel des êtres et les développements successifs dont ils contiennent le germe. Et d'abord, nous voyons la matière, tantôt condensée en globes de grandeurs et de densités très-diverses, animés d'un double mouvement de rotation et de

translation, tantôt disséminée dans l'espace, sous forme de nébulosités phosphorescentes.

Considérons en premier lieu cette matière cosmique répartie dans le ciel sous des formes plus ou moins déterminées, et dans tous les états possibles d'agrégation. Lorsqu'elles ont de faibles dimensions apparentes, les nébuleuses présentent l'aspect de petits disques ronds ou elliptiques, soit isolés, soit disposés par couples et réunis alors quelquefois par un mince filet lumineux. Sous de plus grands diamètres, la matière nébuleuse prend les formes les plus variées : elle envoie au loin, dans l'espace, de nombreuses ramifications; elle s'étend en éventail, ou bien elle affecte la figure annulaire aux contours nettement accusés, avec un espace central obscur. On croit que ces nébuleuses subissent graduellement des changements de forme, suivant que la matière, obéissant aux lois de la gravitation, se condense autour d'un ou de plusieurs centres. Environ 2500 de ces nébuleuses, que les plus puissants télescopes n'ont pu résoudre en étoiles, sont maintenant classées et déterminées, quant aux lieux qu'elles occupent dans le ciel.

En présence de ce développement génésique, de ces formations perpétuellement progressives dont une partie des espaces célestes semble être le théâtre, l'observateur philosophe s'est trouvé conduit à établir une analogie entre ces grands phénomènes et ceux de la vie organique : de même que nous voyons dans nos forêts des arbres de même espèce parve-

nus à tous les degrés possibles de croissance, de même on peut reconnaître, dans l'immensité des champs célestes, les diverses phases de la formation graduelle des étoiles. Cette condensation progressive, enseignée par Anaximène, et, avec lui, par toute l'école ionique, paraît ainsi se développer simultanément à nos yeux. Il faut le reconnaître, la tendance presque divinatrice de ces recherches et de ces efforts de l'esprit a toujours offert (31) à l'imagination l'attrait le plus puissant; mais ce qui doit captiver, dans l'étude de la vie et des forces qui animent l'univers, c'est bien moins la connaissance des êtres dans leur essence que celle de la loi de leur développement, c'est-à-dire la succession des formes qu'ils revêtent; car, de l'acte même de la création, d'une origine des choses considérée comme la transition du néant à l'être, ni l'expérience ni le raisonnement ne sauraient nous en donner l'idée.

On ne s'est point borné à constater dans les nébuleuses diverses phases de formation par les degrés de leur condensation plus ou moins marquée vers le centre; on a cru pouvoir aussi déduire immédiatement d'observations faites à différentes époques, qu'il s'est opéré des changements effectifs dans la nébuleuse d'Andromède, puis dans celle du navire Argo et dans les filaments isolés qui appartiennent à la nébuleuse d'Orion; mais l'inégale puissance des instruments employés à ces diverses époques, les variations de notre atmosphère, et d'autres influences de nature optique jettent un doute légitime sur une partie de

ces résultats, quand on les considère comme des termes de comparaison légués par l'histoire des cieux.

Ni les taches nébuleuses proprement dites, à formes si variées, à régions brillant d'un inégal éclat, et dont la matière, sans cesse concentrée dans un moindre espace, finira peut-être par se condenser en étoiles, ni les *nébuleuses planétaires* qui émettent, de tous les points de leurs disques un peu ovales, une lumière douce parfaitement uniforme, ne doivent être confondues avec les *étoiles nébuleuses*. Il ne s'agit pas ici d'un effet de projection purement fortuit; bien loin de là, la matière phosphorescente, la nébulosité forme un tout avec l'étoile qu'elle environne. A en juger par leur diamètre apparent souvent considérable, et par la distance où elles brillent, ces deux variétés, les nébuleuses planétaires et les étoiles nébuleuses, doivent avoir d'énormes dimensions. Il résulte de considérations nouvelles extrêmement ingénieuses, sur les effets divers que l'éloignement doit produire dans l'éclat d'un disque lumineux de diamètre appréciable et dans celui d'un point isolé, que les nébuleuses planétaires sont probablement des étoiles nébuleuses pour lesquelles toute différence d'éclat entre l'étoile centrale et l'atmosphère environnante aurait disparu, même pour l'œil armé des plus puissants télescopes.

Les magnifiques zones du ciel austral comprises entre les parallèles du 50e et du 80e degré, sont les plus riches en étoiles nébuleuses et en amas de nébulosités irréductibles. Des deux nuages magellaniques qui tour-

nent autour du pôle austral, de ce pôle si pauvre en étoiles qu'on dirait une contrée dévastée, le plus grand surtout paraît être, d'après des recherches récentes (32), « une étonnante agglomération d'amas sphé-» riques d'étoiles plus ou moins grandes et de nébu-» leuses irréductibles, dont l'éclat général illumine le » champ de la vision et forme comme le fond du ta-» bleau. » L'aspect de ces nuages, la brillante constellation du navire Argo, la voie lactée, qui s'étend entre le Scorpion, le Centaure et la Croix, et, j'ose le dire, l'aspect si pittoresque de tout le ciel austral, ont produit sur mon âme une impression ineffaçable.

La lumière zodiacale qui monte au-dessus de l'horizon comme une pyramide de lumière, et dont le doux éclat fait l'éternel ornement des nuits intertropicales, est probablement une grande nébuleuse annulaire tournant entre l'orbite de Mars et celle de la Terre; car on ne saurait admettre que ce soit la couche extérieure de l'atmosphère même du Soleil. Outre ces nébulosités, ces nuages lumineux à formes déterminées, des observations exactes s'accordent à établir l'existence d'une matière infiniment ténue, qui ne possède probablement pas de lumière propre, mais dont l'existence se révèle par la résistance qu'elle oppose au mouvement de la comète d'Encke (et peut-être aussi de celles de Biela et de Faye), par la diminution qu'elle fait subir à l'excentricité et à la durée de la révolution. On peut se représenter cette matière éthérée ou cosmique, flottante dans l'espace, comme animée de mouvement; malgré sa

ténuité originaire, on peut la supposer soumise aux lois de la gravitation, et plus condensée par conséquent aux environs de l'énorme masse du Soleil; on pourrait admettre, enfin, qu'elle se renouvelle et qu'elle s'augmente, depuis des myriades de siècles, par les matières gazéiformes que les queues des comètes abandonnent dans l'espace.

Après avoir ainsi passé en revue la variété des formes que revêt la matière disséminée dans les espaces infinis des cieux (οὐρανοῦ χόρτος) (33), soit qu'elle s'étende sans limites et sans contours comme une sorte d'éther cosmique, soit qu'elle ait été primitivement condensée en nébuleuses, il faut considérer la partie solide de cet univers, c'est-à-dire la matière agglomérée en globes auxquels appartiennent exclusivement les désignations d'astres ou de mondes stellaires. Ici encore nous trouvons des degrés divers d'agrégation et de densité, et notre propre système solaire reproduit tous les termes de la série des pesanteurs spécifiques (rapport du volume à la masse) que les substances terrestres nous ont rendus familiers. Quand on compare les planètes, depuis Mercure jusqu'à Mars, au Soleil et à Jupiter, et ces deux derniers astres à Saturne moins dense encore, on se trouve conduit, par une progression décroissante, de la pesanteur spécifique de l'antimoine métallique, jusqu'à celle du miel, de l'eau et du sapin. Bien plus, la densité des comètes est si faible que la lumière des étoiles les traverse sans être réfractée, même par cette partie plus compacte que l'on nomme

habituellement la tête ou le noyau ; peut-être la masse d'aucune comète n'a-t-elle jamais atteint la cinq millième partie de celle de la Terre. Signalons ici ce qu'il y a de frappant dans la diversité des effets produits par les forces dont l'action progressive a présidé dès l'origine aux agglomérations de la matière. Du point de vue général où nous sommes placé, nous aurions pu indiquer *à priori* cette variété indéfinie comme un résultat possible de l'action combinée des forces génératrices ; il valait mieux se réserver de la montrer comme un fait réel qui se développe effectivement à nos yeux dans les régions célestes.

Les conceptions purement spéculatives de Wright, de Kant et de Lambert, sur la construction générale des cieux, ont été établies par sir William Herschel sur une base plus solide, celle des observations et des mesures précises. Ce grand homme, si hardi et si prudent à la fois dans ses recherches, fut le premier qui osa sonder les profondeurs des cieux pour déterminer les limites et la forme de la couche isolée d'étoiles dont nous faisons partie ; le premier il tenta d'appliquer à cette zone stellaire les rapports de grandeur, de forme et de position qui lui étaient révélés par l'étude des nébuleuses éloignées, justifiant ainsi la belle épitaphe gravée sur son tombeau à Upton : *Cœlorum perrupit claustra.* Lancé, comme Colomb, sur une mer inconnue, il découvrit des côtes et des archipels dont il laissait aux générations suivantes le soin de déterminer la position exacte.

Il a fallu recourir à des hypothèses plus ou moins

vraisemblables sur les diverses grandeurs des étoiles et leur nombre relatif, c'est-à-dire sur leur accumulation plus ou moins marquée dans les espaces égaux qui circonscrit le champ d'un télescope donné, armé toujours du même grossissement, pour évaluer l'épaisseur des couches ou des zones qu'elles constituent. Aussi est-il impossible d'attribuer à ces aperçus, quand il s'agit d'en déduire les particularités de la structure des cieux, le même degré de certitude auquel on est parvenu dans l'étude des phénomènes particuliers à notre système solaire, ou dans la théorie des mouvements apparents et réels des corps célestes en général, ou même dans la détermination des révolutions accomplies par les étoiles composantes d'un système binaire autour de leur centre commun de gravité. Cette partie de la science du Cosmos ressemble aux époques fabuleuses ou mythologiques de l'histoire. Toutes deux remontent en effet à ce crépuscule incertain où viennent se perdre les origines des temps historiques et les limites de l'espace que nos mesures cessent déjà d'atteindre. Alors l'évidence commence à disparaître de nos conceptions, et tout invite l'imagination à chercher en elle-même une forme et des contours arrêtés pour ces apparences confuses qui menacent de nous échapper.

Mais revenons à la comparaison que nous avons déjà indiquée entre la voûte céleste et une mer parsemée d'îles et d'archipels; elle aidera à mieux saisir les divers modes de répartition des agrégats isolés que forme la matière cosmique, de ces nébuleuses non résolubles, condensées autour d'un ou de plu-

sieurs centres, portant en elles-mêmes l'indice de leur antiquité ; de ces amas d'étoiles ou de ces groupes sporadiques distincts qui présentent des traces d'une formation plus récente. L'amas d'étoiles dont nous faisons partie, et que nous pourrions appeler ainsi une île dans l'univers, forme une couche aplatie, lenticulaire, isolée de toutes parts ; on estime que son grand axe est égal à sept ou huit cents fois la distance de Sirius à la Terre, et le petit axe à cent cinquante de ces unités. Quant à la grandeur absolue de l'unité dont il s'agit, pour s'en former une idée, on peut supposer que la parallaxe de Sirius ne dépasse point celle de la brillante du Centaure (0″,9128) ; dans ce cas, la lumière emploierait trois années à parcourir la distance qui nous sépare de Sirius ; d'après les admirables travaux de Bessel sur la parallaxe de la 61ᵉ du Cygne (0″,3483) (34), étoile dont le mouvement propre considérable laissait soupçonner la proximité, un rayon lumineux parti de cet astre ne peut arriver jusqu'à nous qu'après neuf ans un quart.

Notre amas d'étoiles, dont l'épaisseur est relativement faible, se partage en deux branches sur un tiers environ de son étendue ; on pense que le système solaire y est situé excentriquement, non loin du point de partage, plus près de la région où brille Sirius que de la constellation de l'Aigle, et presque au milieu de la couche dans le sens de son épaisseur.

Nous l'avons dit plus haut, c'est en jaugeant systématiquement le ciel, c'est en comptant les étoiles contenues dans le champ invariable d'un télescope

dirigé successivement vers toutes les régions de l'espace, que l'on est parvenu à fixer ainsi la place de notre système solaire, à déterminer la forme et les dimensions de l'amas lenticulaire d'étoiles dont il fait partie. En effet, si les nombres plus ou moins grands d'étoiles que renferment les espaces égaux, varient en raison de l'épaisseur même de la couche dans chaque direction, ces nombres doivent donner la longueur du rayon visuel, sonde hardiment jetée dans les profondeurs du ciel, lorsque le rayon atteint le fond de la couche stellaire ou plutôt sa limite extérieure, car il ne peut être question ici ni de haut ni de bas. Dans le sens du grand axe, le rayon visuel doit rencontrer les étoiles échelonnées suivant cette direction, en beaucoup plus grand nombre que partout ailleurs; les étoiles sont en effet fortement condensées dans ces régions, et comme réunies dans une nuance générale qu'on peut comparer à une poussière lumineuse. Leur ensemble dessine sur la voûte céleste une zone qui paraît l'envelopper complétement. Cette zone étroite, dont l'éclat inégal est interrompu çà et là par des espaces obscurs, suit, à quelques degrés près, la direction d'un grand cercle de la sphère, parce que nous sommes placés près du milieu de la couche d'étoiles et dans le plan même de la voie lactée, qui en est la perspective. Si notre système planétaire se trouvait situé à une grande distance de cet amas d'étoiles, la voie lactée offrirait l'apparence d'un anneau; à une distance encore plus forte, elle apparaîtrait, dans un télescope, comme une nébuleuse

irréductible terminée par un contour circulaire.

Parmi tous ces astres lumineux par eux-mêmes, qu'on a longtemps réputés fixes, mais à tort, puisque leur position change continuellement; parmi ces astres qui forment notre île dans l'océan des mondes, le soleil est le seul que des observations réelles nous permettent de reconnaître comme centre des mouvements d'un système secondaire composé de planètes, de comètes et d'astéroïdes analogues à nos aérolithes. Les étoiles doubles ou multiples ne sauraient être assimilées complétement à notre monde planétaire, ni pour la dépendance des mouvements relatifs ni pour les apparences lumineuses. A la vérité, les astres brillant d'une lumière propre qui forment ces associations binaires ou plus complexes, tournent aussi autour de leur centre commun de gravité; ils entraînent peut-être des cortéges de planètes et de lunes dont nos télescopes ne peuvent nous révéler l'existence; mais le centre de leurs mouvements se trouve dans un espace vide ou rempli seulement de matière cosmique, tandis que, dans le système solaire, ce centre est situé à l'intérieur d'un corps visible. Si pourtant on voulait considérer comme étoiles doubles le Soleil et la Terre, ou bien la Terre et la Lune, si on assimilait l'ensemble des planètes à un système multiple, il faudrait restreindre aux seuls mouvements l'analogie que ces dénominations rappellent, car on peut admettre l'universalité des lois de la gravitation, mais tout ce qui a trait aux apparences lumineuses devrait être exclu de ce rapprochement.

Placé à ce point de vue général qui nous était imposé par la nature même de notre œuvre, il nous est permis d'envisager actuellement le système solaire sous un double aspect; nous étudierons d'abord, dans les classes diverses qu'on y peut distinguer, les caractères généraux de grandeur, de figure, de densité et de situation relative; nous aborderons ensuite les relations qui paraissent unir cet ensemble aux autres parties de notre zone étoilée : c'est indiquer assez le mouvement propre du Soleil lui-même.

Dans l'état actuel de la science, le système solaire se compose de onze planètes principales, de dix-huit lunes ou satellites, et d'une myriade de comètes dont quelques-unes restent constamment dans les limites étroites du monde des planètes : ce sont les comètes planétaires. Nous pourrions encore, avec toute vraisemblance, ajouter au cortége de notre Soleil, et placer dans la sphère où s'exerce immédiatement son action centrale, un anneau de matière nébuleuse animé d'un mouvement de rotation; cet anneau est probablement situé entre l'orbite de Mars et celle de Vénus, du moins il est certain qu'il dépasse l'orbite de la Terre (35) : c'est lui qui produit cette apparence lumineuse, de forme pyramidale, connue sous le nom de lumière zodiacale. En second lieu, une multitude d'astéroïdes excessivement petits, dont les orbites coupent celle de la terre ou s'en écartent fort peu : c'est par eux qu'on explique les apparitions d'étoiles filantes et les chutes d'aérolithes. Lorsque l'on considère ces formations si complexes, ces astres si nom-

breux qui circulent autour du Soleil dans des ellipses plus ou moins excentriques, sans chercher à expliquer, avec l'immortel auteur de la *Mécanique céleste*, l'origine de la plupart des comètes, par des portions de matière détachées des nébuleuses et errant d'un monde à l'autre (36), il faut bien reconnaître que les planètes avec leurs satellites ne forment qu'une très-faible partie du système solaire, si on a égard au nombre et non pas aux masses.

On a supposé que les planètes télescopiques, Vesta, Junon, Cérès et Pallas, forment une sorte de groupe intermédiaire, et que leurs orbites, si étroitement entrelacées, si inclinées, si excentriques, déterminent dans l'espace une zone de séparation entre les planètes intérieures, Mercure, Vénus, la Terre, Mars, et la région des planètes extérieures, Jupiter, Saturne, Uranus (37). Ces deux régions présentent en effet les contrastes les plus frappants. Les planètes intérieures, plus rapprochées du Soleil, sont de grandeur moyenne; leur densité est considérable; elles tournent lentement sur elles-mêmes en temps à peu près égaux (vingt-quatre heures environ); elles sont peu aplaties, et, sauf la Terre, elles sont totalement dépourvues de satellites. Les planètes extérieures sont énormément plus grosses et cinq fois moins denses; leur rotation est deux fois au moins plus rapide, leur aplatissement plus marqué; enfin, le nombre de leurs satellites est, à celui du groupe intérieur, dans le rapport de dix-sept à un, si toutefois Uranus possède effectivement les six lunes qu'on lui attribue.

Mais les considérations d'où nous avons fait ressortir les caractères généraux de ces deux groupes, ne sauraient s'étendre avec une égale justesse à chacune des planètes en particulier ; on ne pourrait comparer ainsi une à une les distances au centre commun des mouvements avec les grandeurs absolues, les densités avec le temps de la rotation, les excentricités et l'inclinaison mutuelle des orbites avec les grands axes. Nous ne connaissons point de liaison nécessaire entre les six éléments que nous venons d'énumérer et les moyennes distances ; nous ignorons s'il existe entre ces diverses grandeurs une loi de la mécanique céleste analogue à celle qui unit, par exemple, les carrés des temps périodiques aux cubes des grands axes. Mars est plus éloigné du Soleil que Vénus et la Terre ; il est pourtant plus petit, et de toutes les planètes anciennement connues, celle dont il diffère le moins quant au diamètre, c'est la planète la plus voisine du Soleil, c'est Mercure. Saturne est plus petit que Jupiter, mais il est beaucoup plus gros qu'Uranus. Bien plus, à la zone des planètes télescopiques succède immédiatement Jupiter, le plus puissant de tous les astres secondaires de notre système ; et cependant la surface de ces astéroïdes, dont le diamètre, par sa petitesse, échappe presque à nos mesures, dépasse à peine de moitié celle de la France, de Madagascar ou de Bornéo. Quelque frappante que puisse être la densité si extraordinairement faible des colosses planétaires qui gravitent vers le Soleil aux confins de notre monde, ici encore il n'y a pas de ré-

gularité dans la série décroissante (38), puisque Uranus paraît être plus dense que Saturne, même en admettant la masse donnée par Lamont, $\frac{1}{24605}$, la plus faible de toutes ; et malgré la différence à peine notable qui s'observe dans les densités du groupe des planètes les plus rapprochées du Soleil (39), nous trouvons, de part et d'autre de la Terre, Vénus et Mars qui sont tous deux moins denses que notre planète. Quant à la durée de la rotation, elle diminue incontestablement à mesure que la distance au Soleil augmente, mais elle est plus grande pour Mars que pour la Terre, plus grande aussi pour Saturne que pour Jupiter. Les plus fortes excentricités appartiennent aux ellipses que décrivent Junon, Pallas et Mercure ; les plus faibles sont celles de Vénus et de la Terre, deux planètes qui se suivent pourtant dans l'ordre des distances. Mercure et Vénus nous offrent précisément le même contraste que les quatre petites planètes, car les excentricités peu différentes de Junon et de Pallas sont triples de celles de Cérès et de Vesta. De semblables anomalies se présentent quand on considère l'inclinaison des orbites sur le plan de l'écliptique, et la position relative des axes de rotation, éléments qui influent bien autrement que l'excentricité sur les climats, la longueur de l'année et la durée variable des jours. Les ellipses les plus allongées, celles que parcourent Junon, Pallas et Mercure, sont aussi les plus fortement inclinées sur l'écliptique, mais dans des rapports très-différents : l'inclinaison de l'orbite de Pallas, dont on ne retrouve d'analogue que parmi les comètes, est à peu

près vingt-six fois plus grande que celle de Jupiter, tandis que l'inclinaison de la petite planète Vesta, si rapprochée de Pallas, surpasse à peine le sextuple du même angle. On n'a pas mieux réussi à former une série régulière avec les positions des axes de rotation des quatre ou cinq planètes à l'égard desquelles cet élément a été déterminé avec exactitude. A en juger, pour Uranus, d'après la position des plans dans lesquels tournent les deux seuls satellites qui aient été réobservés récemment, l'axe de rotation de cette planète serait incliné de 11° à peine sur le plan de son orbite ; et Saturne se trouve ainsi placé, sous ce rapport, entre Jupiter, dont l'axe de rotation est presque perpendiculaire à l'orbite, et Uranus.

Il semble résulter de l'énumération de ces irrégularités que le monde des formations célestes doit être accepté comme un fait, comme une donnée naturelle qui se dérobe aux spéculations de l'esprit par l'absence de tout enchaînement visible de cause à effet. En d'autres termes, les rapports de grandeurs absolues et de position relative des axes, les relations qui existent dans le système planétaire entre les densités, les durées de rotation et les excentricités, ne nous paraissent pas autrement nécessaires dans la nature que la distribution des eaux et des terres à la surface de notre globe, les contours de ses continents ou la hauteur de ses chaînes de montagnes. Point de loi générale qu'on puisse établir, sous ces divers rapports, dans les cieux ou dans les inégalités des couches terrestres. Ce sont autant de faits naturels produits

par le conflit de forces multiples qui ont agi autrefois dans des conditions tout à fait inconnues. Or, en fait de cosmogonie, l'homme attribue au jeu du hasard ce qu'il ne peut expliquer par l'action génératrice des forces qui lui sont familières. Si les planètes ont été formées par la condensation progressive d'anneaux de matières gazeuses, concentriques au Soleil, les densités, les températures, les tensions magnétiques inégales de ces anneaux expliquent les différences actuelles de forme et de grandeur, tout comme les vitesses primitives de rotation, et de petites variations dans la direction des mouvements, peuvent rendre compte des inclinaisons et des excentricités. En outre, les attractions des masses et les lois de la pesanteur jouèrent ici leur rôle aussi bien que dans les soulèvements qui produisirent les irrégularités de la surface terrestre; mais il est impossible de déduire, de l'état actuel des choses, la série entière des mutations qu'elles ont dû parcourir avant d'y arriver. Quant à la loi bien connue par laquelle on a voulu relier les distances des planètes au Soleil, on en a constaté numériquement l'inexactitude pour les intervalles qui séparent Mercure, Vénus et la Terre; d'ailleurs, elle est en contradiction manifeste avec la notion même de série, à cause du premier terme qu'on y suppose.

Les onze planètes principales qui composent à présent le système solaire, sont accompagnées dans leurs mouvements par quatorze planètes secondaires (*lunes* ou *satellites*), dont l'existence est incontestable. Ce dernier nombre s'élèverait même plus haut si on te-

nait compte des quatre satellites dont la réalité est moins bien établie. Ainsi, les planètes principales sont à leur tour centres des mouvements de systèmes subordonnés. Évidemment la nature a procédé dans les formations célestes comme dans le règne de la vie organique, où nous voyons si souvent les classes secondaires reproduire les types primitifs autour desquels les animaux et les végétaux viennent se grouper. Les satellites sont plus nombreux vers les régions extrêmes du monde planétaire, au delà des orbites si étroitement assemblées de ce qu'on nomme les petites planètes. Mais, du côté opposé, les planètes sont dépourvues de lunes, excepté la Terre, dont le satellite est proportionnellement très-grand, car son diamètre est le quart de celui de notre globe, tandis que le plus grand satellite connu, la sixième lune de Saturne, est linéairement dix-sept fois plus petit que cette dernière planète. Ce sont précisément les planètes les plus éloignées du Soleil, les plus grandes, les moins denses et les plus aplaties, qui possèdent le plus de satellites. Uranus lui-même ne fait exception à cette remarque sous aucun rapport, car son aplatissement, fixé par les nouvelles recherches de Mædler à $\frac{1}{10}$, dépasse celui de toutes les autres planètes. Mais dans ces systèmes éloignés, la différence entre les satellites et l'astre central, quant aux diamètres et aux masses, est beaucoup plus prononcée que dans le système analogue formé par la Terre et la Lune (40), dont la distance est de 38400 myriamètres (51800 milles géographiques). Les relations de densité y sont aussi

tout à fait différentes : la densité de la Lune est $\frac{5}{9}$ de celle de la Terre, tandis que le deuxième satellite de Jupiter paraît être plus dense que sa planète centrale, s'il est permis toutefois d'ajouter une confiance entière à des déterminations aussi délicates que celles des masses et des volumes de ces satellites.

Parmi tous ces systèmes secondaires, du moins parmi ceux dont la théorie offre un certain degré d'exactitude, le plus singulier est assurément le monde de Saturne. Les cas extrêmes en fait de grandeurs absolues et de distances des satellites à la planète centrale s'y trouvent réunis. Ainsi, le sixième et le septième satellite de Saturne sont énormes ; dans l'ordre des volumes, ils passent avant tous ceux de Jupiter ; peut-être même le sixième satellite ne diffère-t-il guère de Mars, dont le diamètre est précisément le double du diamètre de notre Lune. Au contraire, les deux satellites les plus voisins de Saturne, que William Herschel découvrit, en 1787, à l'aide de son télescope de 40 pieds, les mêmes qui, plus tard, furent revus à grand'peine par John Herschel au cap de Bonne-Espérance, par Vico à Rome, et par Lamont à Munich, ces deux satellites sont, disons-nous, avec ceux d'Uranus, les astres les plus petits et les plus difficiles à voir de tout notre système solaire ; les plus puissants télescopes n'y sauraient suffire, il faut encore savoir choisir les circonstances favorables. Au reste, les disques apparents de tous ces satellites sont extrêmement petits, et la détermination de leurs dimensions réelles ne peut s'obtenir que par des me-

sures micrométriques où l'on rencontre à la fois tous les genres de difficultés; heureusement l'astronomie qui représente par des nombres les mouvements des astres, tels qu'ils apparaissent à un observateur placé sur la terre, l'astronomie calculatrice, en un mot, a bien moins besoin de connaître exactement les volumes que les masses et les distances.

De toutes ces planètes secondaires, c'est le septième satellite de Saturne qui s'écarte le plus de sa planète centrale. Sa distance dépasse un tiers de million de myriamètres; elle est donc décuple de celle de la Lune à la Terre. Dans le monde de Jupiter, le dernier satellite est éloigné de 193000 myriamètres; il est vrai que dans celui d'Uranus cette distance atteindrait 252000 myriamètres, si l'existence du sixième satellite était bien constatée. Pour achever de mettre en relief ces singuliers contrastes, comparons actuellement le volume de chaque planète centrale aux dimensions de l'orbite où circule son dernier satellite. Les distances des satellites extrêmes de Jupiter, de Saturne et d'Uranus, exprimées en rayons de leurs planètes centrales respectives, sont entre elles comme 91, 64 et 27 : le septième satellite de Saturne paraît alors à peine plus éloigné du centre de Saturne que ne l'est notre Lune du centre de la Terre; la différence n'est que de $\frac{1}{15}$. Le satellite le plus rapproché de sa planète centrale est, sans contredit, le premier satellite de Saturne, qui nous offre en outre l'exemple unique d'une révolution entière accomplie en moins de vingt-quatre heures. Sa distance, exprimée en

demi-diamètres de Saturne, est 2,47 d'après Mædler, ce qui revient à 14857 myriamètres; elle se réduirait à 8808 myriamètres, si on la comptait à partir de la surface de Saturne, et à 912 myriamètres à partir du bord extérieur de l'anneau. C'est une bien faible distance, et l'on comprendra qu'un voyageur puisse s'en faire aisément une idée, si l'on se rappelle l'assertion d'un hardi navigateur, le capitaine Beechey, qui dit avoir parcouru 18200 milles géographiques (13500 myriamètres) en trois ans. Enfin, si, au lieu de comparer entre elles les distances absolues, on continue à les évaluer en rayons de chaque planète centrale, on trouve que la distance du quatrième satellite de Jupiter au centre de cette planète (distance qui dépasse en réalité de 4800 myriamètres celle de la Lune à la Terre) se réduit à six fois le demi-diamètre de Jupiter, tandis que la Lune est éloignée de nous de 60 $\frac{1}{3}$ rayons terrestres.

Au reste, les relations mutuelles des satellites et leurs rapports avec la planète centrale prouvent que ces mondes secondaires sont soumis aux lois de la gravitation qui régissent les mouvements des planètes autour du Soleil. De même que celles-ci, les douze satellites de Saturne, de Jupiter et de la Terre, se meuvent de l'occident à l'orient dans des ellipses peu différentes du cercle. La Lune et le premier satellite de Saturne, dont l'excentricité est 0,068, sont les seuls dont l'orbite soit plus elliptique que l'orbite de Jupiter. L'orbite du sixième satellite de Saturne, qui a été pour Bessel l'objet d'observations si précises,

offre une excentricité de 0,029, supérieure par conséquent à celle de la Terre. Aux confins du monde planétaire, dans ces régions éloignées de dix-neuf rayons de l'orbite terrestre où la force centrale du Soleil se trouve déjà notablement affaiblie, le système des satellites d'Uranus présente des anomalies vraiment étranges. Tandis que les autres satellites parcourent, comme les planètes, des orbites peu inclinées sur le plan de l'écliptique et se meuvent de l'occident vers l'orient, sans même en excepter l'anneau de Saturne, qu'on pourrait assimiler à une agrégation de satellites fondus ensemble ou du moins invariablement liés entre eux, les satellites d'Uranus, au contraire, se meuvent de l'est à l'ouest dans des plans situés presque perpendiculairement à l'écliptique. Les observations que sir John Herschel a poursuivies pendant plusieurs années confirment parfaitement ces singularités. Si les planètes et leurs satellites ont été formés par la condensation des atmosphères primitives du Soleil et des planètes principales; si ces atmosphères se sont divisées successivement en anneaux fluides animés d'un mouvement de rotation, il faut que des effets de retardation ou de réaction bien énergiques se soient produits, d'une manière inconnue, dans les anneaux d'Uranus, pour que les mouvements du deuxième et du quatrième satellite se trouvent ainsi dirigés en sens inverse de la rotation de la planète centrale.

Il est extrêmement probable que le temps de la rotation de chaque satellite autour de son axe est égal

au temps que chacun de ces astres emploie à faire sa révolution sidérale autour de la planète qu'il escorte ; d'où l'on conclut que le satellite doit toujours présenter la même face à la planète. En réalité, l'accord de ces deux périodes ne saurait être rigoureux, à cause des inégalités dont la révolution sidérale est périodiquement affectée. Telle est la cause principale de la libration apparente, c'est-à-dire d'une sorte de balancement dont l'amplitude, pour la Lune, atteint plusieurs degrés tant en longitude qu'en latitude. C'est ainsi que nous découvrons successivement un peu plus de la moitié de la surface de notre satellite, la partie nouvellement visible étant tantôt vers l'est, tantôt vers l'ouest du disque apparent. Ces petits mouvements libratoires et d'autres du même genre qui se manifestent vers les pôles, placent mieux en vue, à certaines époques, des parties intéressantes, telles que le cirque de Malapert qui cache parfois le pôle austral de la Lune, les contrées arctiques qui entourent le cratère de Gioja, et la grande plaine grisâtre située près d'Endymion, dont l'étendue surpasse celle du *Mare vaporum* (41). Cependant les $\frac{3}{7}$ de la surface entière de la Lune échappent à nos regards et resteront éternellement cachés pour nous, sauf l'intervention peu probable de nouvelles forces perturbatrices. La contemplation de ces belles lois du monde matériel invite l'esprit à chercher quelque analogie dans le monde de l'intelligence, et l'on pense alors à ces régions inabordables où la nature a caché le mystère de ses créations : elles paraissaient aussi destinées à rester igno-

rées à jamais, et pourtant, de siècle en siècle, la nature nous en a dévoilé de faibles parties, où l'homme a pu saisir une vérité, quelquefois une illusion de plus.

Jusqu'ici, nous avons considéré comme produits d'une vitesse initiale, et comme reliés entre eux par le lien puissant d'une attraction réciproque, d'abord les planètes, puis les satellites et les anneaux concentriques en forme d'arche non interrompue dont une des planètes les plus éloignées nous offre un exemple. Il nous reste encore à signaler d'autres corps qui se meuvent aussi autour du Soleil dont ils réfléchissent la lumière, et d'abord, l'innombrable essaim des comètes. Quand on discute, suivant les règles du calcul des probabilités, la répartition uniforme des orbites de ces astres, les limites de leurs plus courtes distances au Soleil et la possibilité qu'ils échappent aux regards des habitants de cette terre, on est conduit à leur assigner un nombre dont l'énormité étonne l'imagination. Déjà Képler disait, avec cette vivacité d'expression qu'il possédait à un si haut degré : « Il y a plus de comètes dans le ciel que de poissons dans l'Océan. » Et pourtant le nombre des orbites calculées jusqu'ici atteint à peine 150. Il est vrai de dire qu'on évalue à six ou sept cents le nombre des comètes dont l'apparition et la course à travers des constellations connues se trouvent constatées par des documents plus ou moins authentiques. Tandis que les peuples classiques de l'Occident, les Romains et les Grecs, se bornaient à indiquer, de temps à autre, le lieu du ciel où une comète faisait son apparition,

sans jamais rien préciser sur sa trajectoire apparente, les Chinois, au contraire, observaient et notaient avec soin tous ces phénomènes : leurs riches annales contiennent des détails circonstanciés sur la route suivie par chaque comète. Ces documents remontent à plus de cinq siècles avant l'ère chrétienne, et les astronomes en tirent encore aujourd'hui des résultats utiles (42).

De tous les astres de notre système solaire, les comètes, avec leurs queues longues parfois de plusieurs millions de lieues, sont ceux qui remplissent les plus grands espaces d'une moindre quantité de matière. En effet, il est impossible de leur attribuer une masse équivalente au $\frac{1}{5000}$ de la masse terrestre, du moins si l'on s'en tient aux seules données que l'on possède encore sur ce sujet; et cependant le cône de matières gazéiformes que les comètes projettent au loin s'est trouvé quelquefois (en 1680 et en 1811) d'une longueur égale à celle d'une ligne menée de la Terre au Soleil; ligne immense qui traverse l'orbite de Mercure et celle de Vénus. Il paraît même que ces émanations ont atteint notre atmosphère, et ont pu s'y mêler, notamment en 1819 et en 1823.

Les comètes se présentent sous des aspects si divers, particuliers aux individus plutôt qu'à l'espèce même, qu'il serait imprudent de généraliser les faits observés et d'en faire indistinctement l'application à toutes les apparitions de ces *nuées errantes;* c'était le nom que leur donnaient déjà Xénophane et Théon d'Alexandrie, le contemporain de Pappus. Les

comètes télescopiques sont presque toujours dépourvues de queues, elles ressemblent aux étoiles nébuleuses d'Herschel; ce sont des nébulosités arrondies, d'une lumière pâle et concentrée vers le milieu. Tel est du moins le type le plus simple de l'espèce; mais nous ne le présentons point comme type d'un astre naissant, car il pourrait se rapporter également à des astres vieillis dont la matière se serait volatilisée et peu à peu disséminée dans l'espace. Quand il s'agit de comètes plus grandes et plus visibles, on y distingue la *tête*, le *noyau*, et la *queue* simple ou multiple, à laquelle les astronomes chinois donnaient le nom pittoresque de balai (*sui*). En général, le noyau n'a pas de contours bien nets; pourtant on en a vu d'aussi brillants que les étoiles de première ou de deuxième grandeur, et même on distingua en plein jour, jusque dans la partie du ciel la mieux éclairée par le soleil, les noyaux des grandes comètes qui parurent dans les années 1402, 1532, 1577, 1744 et 1843 (43), faits remarquables d'où l'on pourrait conclure que la matière des comètes est parfois plus dense et plus apte à réfléchir la lumière solaire. Les seules qui aient présenté un disque bien terminé dans les grands télescopes d'Herschel (44) sont la comète de 1807, découverte en Sicile, et la belle comète de 1811; ce disque avait 1″ de diamètre apparent pour la première et 0″,77 pour la seconde, ce qui porte à 100 et à 79 myriamètres les diamètres réels. Les noyaux à contours moins nets des comètes de 1798 et de 1805 n'avaient que 4 ou 5 myriamètres de diamètre. Les comètes dont la constitu-

tion physique fut le mieux étudiée, et surtout la comète déjà citée de 1811 qui resta si longtemps visible, présentèrent une particularité remarquable : le noyau ne paraissait pas faire corps avec la nébulosité lumineuse qui l'entourait ; il en était isolé de tout côté par un espace obscur. En outre, l'intensité de la lumière ne croissait pas régulièrement en allant du bord vers le centre de la tête, mais on y voyait des zones brillantes concentriques, alternant avec des couches d'une nébulosité plus rare ou moins réfléchissantes, et par conséquent plus obscures. Tantôt la queue est simple, tantôt elle est double, et dans ce dernier cas les deux branches sont ordinairement de longueurs très-inégales (1807 et 1843) ; la comète de 1744 avait même une queue sextuple, dont les rayons extrêmes divergeaient sous un angle de 60°. La queue est droite ou courbe ; dans ce dernier cas, elle peut être concave des deux côtés et à l'extérieur (1811), ou d'un seul côté, et alors la concavité est tournée vers la région que la comète abandonne, telle qu'une flamme forcée de s'infléchir par un obstacle. Enfin, les queues sont toujours opposées au Soleil et dirigées dans le sens de la ligne qui en joindrait l'origine au centre de cet astre. Suivant Édouard Biot, cette remarque capitale avait été faite, dès l'an 837, par les astronomes chinois. Ce fait fut signalé en Europe, vers le XVI[e] siècle, mais plus nettement, par Frascator et par Pierre Apian. Plusieurs de ces apparences optiques si compliquées s'expliquent d'une manière fort simple, en considérant les émanations gazeuses que les co-

mètes projettent au loin, comme des atmosphères de forme conoïdale à nappes multiples.

Pour trouver des différences bien saillantes dans la forme de ces astres, il n'est pas indispensable de passer d'une comète à l'autre, de comparer les comètes dépourvues d'appendices visibles à celle de 1618 (la 3ᵉ), par exemple, dont la queue avait 104° de longueur, car il est hors de doute qu'une même comète subit des changements continuels qui se succèdent avec une étonnante rapidité. Heinsius le constata à Saint-Pétersbourg sur la comète de 1744; mais les observations les plus exactes et les plus décisives de ces variations de forme ont été faites sur la comète de Halley, à sa dernière réapparition en 1835, par Bessel à Kœnigsberg. Vers cette partie du noyau qui se trouvait directement tournée vers le Soleil, on aperçut un appendice lumineux, en forme de houppe, dont les rayons se recourbaient en arrière et revenaient se confondre avec la queue; « le noyau de la comète de Halley, avec ses effluves, ressemblait à une fusée volante dont la queue serait infléchie et courbée par un vent léger. » D'une nuit à l'autre, nous avons remarqué, Arago et moi, à l'Observatoire de Paris, des changements notables dans ces rayons émis par la tête de la comète (45). Le grand astronome de Kœnigsberg a conclu de ses nombreuses mesures et de considérations théoriques, « que le cône lumineux s'éloignait peu à peu de la direction du rayon vecteur, d'une quantité notable, mais qu'il revenait toujours à cette direction pour la dépasser ensuite du côté

opposé; par conséquent, le cône lumineux et le corps de la comète d'où il avait été projeté, devait être animé d'un mouvement de rotation ou plutôt d'oscillation dans le plan de l'orbite. Ces oscillations ne sauraient s'expliquer par l'attraction que le Soleil exerce sur tous les corps pesants; elles dénotent plutôt l'existence d'une force polaire, c'est-à-dire d'une action qui tendrait à ramener dans la direction du Soleil l'extrémité de l'un des diamètres de la comète, et à en éloigner l'autre extrémité. La polarité magnétique que la Terre possède nous offrirait quelque chose d'ana ogue; et si le Soleil était doué de la polarité inverse, l'effet *pourrait* s'en faire sentir sur la rétrogradation des points équinoxiaux. » Ce n'est point ici le lieu de donner de plus amples développements à ce sujet, mais il nous a semblé que d'aussi mémorables observations (46), que des vues aussi grandioses sur les astres les plus extraordinaires du système solaire, devaient trouver place dans l'essai d'un tableau général de la nature.

En opposition avec la règle suivant laquelle les queues des comètes doivent augmenter à la fois d'éclat et d'étendue dans le voisinage du périhélie, mais en restant constamment dirigées à l'opposite du soleil, la comète de 1823 a offert le curieux spectacle d'une queue double dont une branche était opposée au Soleil, tandis que l'autre était presque dirigée vers cet astre, car elle formait avec la première un angle de 160°. Ne pourrait-on recourir, pour expliquer ce phénomène exceptionnel, à certaines modifications

de la polarité agissant successivement et provoquant ces deux courants de matière nébuleuse qui se seraient ensuite librement continués (47)? On trouve dans la philosophie naturelle d'Aristote un rapprochement bizarre entre la voie lactée et les phénomènes que nous venons de décrire. Les étoiles innombrables dont elle est composée formeraient, dans le firmament, une zone incandescente (lumineuse), que le Stagirite présente comme une immense comète dont la matière se renouvellerait sans cesse (48).

Les occultations d'étoiles par le noyau d'une comète, ou par la couche atmosphérique qui l'entoure immédiatement, jetteraient un grand jour sur la constitution physique de ces astres remarquables, s'il existait des observations où l'on pût se convaincre que l'occultation a été réellement bien centrale (49). Mais cette condition est difficilement remplie, à cause des couches concentriques de vapeurs alternativement denses et rares qui entourent le noyau et dont il a déjà été question. Voici pourtant un fait de ce genre que les mesures exécutées par Bessel, le 29 septembre 1835, ont mis hors de doute. Une étoile de dixième grandeur se trouvait alors à 7″,78 du centre de la tête de la comète de Halley, et sa lumière dut traverser une partie fort épaisse de la nébulosité; or, le rayon lumineux ne fut nullement dévié de sa direction rectiligne (50). Une absence aussi complète de pouvoir réfringent ne permet guère d'admettre que la matière des comètes soit un fluide gazéiforme. Faut-il recourir à l'hypothèse d'un gaz presque infiniment raréfié, ou

bien les comètes consistent-elles en molécules indépendantes dont la réunion formerait des nuages cosmiques dépourvus de la faculté d'agir sur les rayons lumineux, de même que les nuages de notre atmosphère qui n'altèrent point les distances zénithales des astres que nous observons? Quant à l'affaiblissement de lumière que les étoiles paraissent éprouver par l'interposition de la substance cométaire, on l'a justement attribué au fond éclairé sur lequel se projettent alors leurs images.

Nous devons aux recherches d'Arago sur la polarisation, les données les plus importantes et les plus décisives sur la nature de la lumière des comètes. Son polariscope lui a servi à résoudre les plus difficiles problèmes sur la constitution physique du Soleil, comme sur celle des comètes. Cet instrument permet, dans beaucoup de circonstances, de décider si un rayon de lumière qui arrive jusqu'à nous après avoir parcouru un espace quelconque, est un rayon direct, un rayon réfléchi ou un rayon réfracté, et si la source de lumière d'où il émane est un corps solide, liquide ou gazeux. A l'aide de cet appareil, la lumière de la Chèvre et celle de la grande comète de 1819 furent analysées simultanément à l'Observatoire de Paris : la lumière de l'étoile fixe se comporta comme on devait s'y attendre, c'est-à-dire comme doivent le faire des rayons émis, sous toutes les inclinaisons et dans tous les azimuths possibles, par un soleil brillant de son propre éclat; mais la lumière de la comète parut polarisée : elle contenait donc de la lumière réflé-

chie (51). L'existence de rayons polarisés dans la lumière qui nous vient des comètes ne fut point seulement constatée par l'inégalité d'éclat de deux images; une preuve nouvelle en fut donnée par le contraste encore plus frappant des couleurs complémentaires, basé sur les lois de la polarisation chromatique dont Arago avait fait la découverte en 1811. Ces observations furent renouvelées, avec le même résultat, en 1835, époque de la dernière apparition de la comète de Halley. Cependant, ces brillants travaux ne permettent pas encore de décider si de la lumière propre aux comètes ne se mélange point à la lumière solaire que ces astres réfléchissent; or, c'est là une combinaison dont certaines planètes, telles que Vénus, offrent un exemple assez probable.

Il n'est guère possible d'attribuer toutes les variations qu'on a remarquées dans l'éclat des comètes à leurs changements de position par rapport au Soleil. Elles peuvent naître aussi de la condensation progressive et des modifications qui doivent survenir dans le pouvoir réfléchissant des matières qui les constituent. Hévélius trouva que le noyau de la comète de 1618 diminua vers l'époque de son passage au périhélie, et qu'il se dilatait à mesure que l'astre s'éloignait du Soleil. Ces faits remarquables restèrent longtemps négligés, et ce fut Valz qui en renouvela l'observation sur la comète à courte période. L'habile astronome de Marseille fit voir avec quelle régularité son volume décroît en même temps que son rayon vecteur; mais il paraît bien difficile de chercher l'ex-

plication de ce phénomène dans l'action d'un éther cosmique, plus condensé vers le soleil ; car il faudrait alors se représenter l'atmosphère de la comète comme une masse gazeuse impénétrable à l'éther (52).

Grâce aux formes si variées des orbites cométaires, l'astronomie solaire s'est enrichie, dans ces derniers temps, d'une brillante découverte. En 1819, Encke démontra l'existence d'une comète à courte période ; cette comète ne quitte jamais l'enceinte où les planètes se meuvent, et le point de son orbite le plus éloigné du soleil se trouve compris entre la région des petites planètes et celle de Jupiter. Son excentricité est 0,845 (celle de Junon, la plus forte de toutes les excentricités planétaires, est 0,255). La comète d'Encke a été vue à l'œil nu à diverses reprises, notamment en 1819 en Europe, et par Rümker, en 1822, dans la Nouvelle-Hollande, mais toujours avec difficulté. Le temps de sa révolution est d'environ trois ans et demi. Il résulte d'une comparaison soigneuse des retours successifs au périhélie, que les périodes comprises entre 1786 et 1838 ont diminué régulièrement de révolution en révolution ; la variation totale pour les cinquante-deux ans est de 1 jour et $\frac{8}{10}$. Pour accorder ensemble les calculs et les observations, il n'a pas suffi de tenir un compte exact des perturbations planétaires, il a encore fallu recourir à une hypothèse, du reste très-vraisemblable, et supposer que les espaces célestes sont remplis par une matière fluide excessivement ténue, qui opposerait une certaine résistance aux mouvements, diminuerait la force

tangentielle, et par conséquent aussi les grands axes des orbites cométaires. La valeur de la constante de cette résistance paraît être un peu différente avant et après le passage de la comète à son périhélie, peut-être à cause des variations de forme que subit alors cette petite nébulosité, ou de la densité variable des couches formées par l'éther cosmique (53). Ces faits, ainsi que les théories qu'ils ont fait naître, sont assurément une des plus intéressantes parties de l'astronomie nouvelle. Ajoutons que les calculs des perturbations de la comète d'Encke ont fourni l'occasion de soumettre à une épreuve délicate la masse de Jupiter qui joue un si grand rôle en astronomie, et apporté une diminution sensible à la masse de Mercure.

A cette première comète à courte période vint s'en joindre bientôt une seconde (en 1826), également planétaire, dont l'aphélie est situé par delà l'orbite de Jupiter, mais bien loin encore de celle de Saturne. La comète de Biela accomplit sa révolution autour du Soleil en 6 ans $\frac{3}{4}$. Elle est encore plus faible que celle d'Encke; elle se meut, comme celle-ci, dans le même sens que les planètes, tandis que la comète de Halley est rétrograde. C'est le seul cas qui se soit présenté jusqu'ici d'une comète qui coupe l'orbite terrestre, et qui pourrait occasionner une catastrophe par sa rencontre avec la Terre, si toutefois il est permis d'employer un pareil terme en parlant d'un phénomène inouï dans l'histoire, et dont les conséquences échappent à toute appréciation. Il est vrai, de faibles masses animées d'une vitesse énorme pourraient produire

des effets considérables ; mais après avoir prouvé qu'il est impossible d'attribuer à la comète de 1770 une masse égale à la cinq millième partie de celle de la Terre, Laplace montre qu'on peut admettre, avec un certain degré de probabilité, que la masse *moyenne* des comètes est bien inférieure à $\frac{1}{100000}$ de celle de la Terre [c'est environ $\frac{1}{1200}$ de la masse de la Lune] (54). Quoi qu'il en soit, il faut se garder de confondre la rencontre de la Terre et de la comète de Biela, avec le passage de celle-ci à travers notre orbite ; ce passage s'est effectué le 29 octobre 1832, mais la Terre était alors située à une distance telle de ce point de son orbite, qu'il lui fallait un mois entier pour y arriver.

Les orbites de ces deux comètes à courte période se coupent aussi, et l'on a justement remarqué que les fortes perturbations auxquelles ces petits astres sont soumis pourraient bien amener leur rencontre (55). Si elle avait effectivement lieu vers le milieu d'octobre, les habitants de la terre auraient le merveilleux spectacle du choc de deux corps célestes, ou plutôt d'une pénétration mutuelle, peut-être d'une agglutination qui les réunirait en un seul corps, mais peut-être aussi les verrions-nous se dissiper complétement dans l'espace. De telles conséquences de l'action perturbatrice des masses prépondérantes, ou de la situation relative d'orbites qui se sont toujours croisées, pourraient s'être réalisées fréquemment, depuis des milliers de siècles, dans l'immensité des cieux ; ces événements n'en seraient pas moins des accidents isolés, sans action sur les grands faits gé-

néraux, et sans plus d'influence que l'éruption ou l'oblitération d'un volcan n'en peuvent avoir sur l'étroit domaine que nous occupons.

Une troisième comète à courte période a été découverte par Faye, l'année dernière (22 nov. 1843), à l'Observatoire de Paris. Son orbite elliptique se rapproche plus de la forme circulaire que celle d'aucune autre comète connue; elle est comprise entre l'orbite de Mars et l'orbite de Saturne. La comète de Faye, qui, d'après les calculs de Goldschmidt, dépasse, à son aphélie, la région de Jupiter, appartient au petit nombre de comètes dont le périhélie est situé au delà de l'orbite de Mars. Sa période est de sept ans $\frac{29}{100}$, et la forme actuelle de son orbite est due peut-être à l'action perturbatrice de Jupiter, dont cette comète fut très-voisine vers la fin de l'année 1839.

Si nous considérons toutes les comètes à orbites elliptiques comme des parties intégrantes du monde solaire, et si nous les rangeons dans l'ordre de leurs grands axes et de leurs excentricités, nous en trouverons plusieurs qu'on peut placer immédiatement après les trois comètes planétaires d'Encke, de Biela et de Faye. D'abord, la comète découverte par Messier en 1766, que Clausen regarde comme identique à la troisième comète de 1819; puis la quatrième comète de cette dernière année, découverte par Blanpain, et dont Clausen a signalé l'analogie avec la comète directe de 1743 (cette comète aurait, comme celle de Lexell, éprouvé de fortes perturbations de la part de Jupiter). Leurs périodes paraissent être de

cinq à six ans, et leurs aphélies tombent dans la région de Jupiter. Ensuite viennent les comètes dont la période est comprise entre soixante-dix et soixante-seize ans ; ce sont : la comète de Halley, qui a joué un rôle si important pour la théorie et la physique du ciel ; sa dernière réapparition (1835) fut moins brillante que les précédentes ; la comète d'Olbers (6 mars 1815) ; enfin celle qui fut découverte par Pons en 1812, et dont l'orbite elliptique a été calculée par Encke. Ces deux dernières n'ont jamais été visibles à l'œil nu. Nous connaissons actuellement neuf apparitions certaines de la grande comète de Halley ; car des calculs récents, dont Laugier a puisé les éléments dans la nouvelle table des comètes extraite, par Édouard Biot, des Annales Chinoises, ont établi l'identité de la comète de 1378 avec celle de Halley (56). De 1378 à 1835, le temps de la révolution de la comète de Halley a varié de 74,91 à 77,58 ans : la période intermédiaire a été de 76,1.

Cette classe de comètes contraste avec un autre groupe d'astres de même genre, dont la période toujours incertaine et difficile à déterminer, embrasse plusieurs milliers d'années. Telle est la belle comète de 1811 qui emploie 3000 ans, d'après les calculs d'Argelander, à accomplir sa révolution, et l'effrayante comète de 1680, dont le temps périodique dépasse quatre-vingt-huit siècles, suivant Encke. Ces astres s'éloignent du soleil, l'un à vingt et un, l'autre à quarante-quatre rayons de l'orbite d'Uranus, c'est-à-dire à 6200 et à 13000 millions de myriamètres,

La force attractive du Soleil s'exerce donc encore à ces énormes distances ; mais aussi, la comète de 1680, qui parcourt 393 kilomètres par seconde à son périhélie, et dont la vitesse est alors treize fois plus grande que celle de la Terre, ne se meut à son aphélie qu'à raison de 3 mètres à peine par seconde ; c'est à peu près le triple de la vitesse de nos fleuves d'Europe, et ce n'est que la moitié de celle que j'ai constatée dans un bras de l'Orénoque, le Cassiquiare. Certes, parmi les comètes que l'on n'a pu calculer, et dans le nombre immense de celles qui ont passé inaperçues, il doit s'en trouver plusieurs dont le grand axe dépasse beaucoup celui de la comète de 1680. En nous bornant à cette dernière, nous citerons quelques nombres, afin d'aider l'esprit à se faire une idée, non de l'étendue qu'embrasse la sphère d'attraction des autres soleils, mais seulement de la distance qui les sépare encore de l'aphélie déjà si reculé de cette comète. D'après les récentes déterminations de la parallaxe des étoiles les plus proches, leur distance au Soleil serait deux cent cinquante fois plus grande que la distance de l'aphélie de la comète de 1680 ; car cette dernière distance équivaut à quarante-quatre rayons de l'orbite d'Uranus, tandis que celle de α du Centaure en contient 11000, et celle de la 61e du Cygne, 31000.

Après nous être occupé des cas où les comètes s'éloignent le plus de l'astre central, il nous reste à parler des plus courtes distances qui aient été mesurées. La comète de Lexell et de Burckhardt (1770),

célèbre à cause des fortes perturbations qu'elle a éprouvées de la part de Jupiter, s'est rapprochée de la Terre plus que toute autre comète ; le 28 juin, sa distance était égale à six fois la distance de la Lune. Cette même comète traversa deux fois, à ce qu'il paraît (en 1767 et en 1779), le système des quatre satellites de Jupiter, sans faire éprouver le moindre dérangement à ces petits astres dont les mouvements sont si bien connus. La distance de la comète de 1680 au Soleil fut huit ou neuf mois moindre que celle de la comète de Lexell à la Terre ; le 17 décembre, jour de son passage au périhélie, cette distance n'était que le sixième du diamètre solaire, ce qui revient aux $\frac{7}{10}$ de la distance de la Lune. Quant aux comètes dont le périhélie dépasse l'orbite de Mars, elles sont rarement visibles pour les habitants de la Terre, à cause de leur éloignement. Pourtant la comète de 1729 atteignit son périhélie dans la région située entre les orbites de Pallas et de Jupiter ; elle fut même observée par delà cette dernière planète.

Depuis que les connaissances scientifiques, mélangées de quelques notions imparfaites et confuses, ont pénétré plus avant dans la société, on s'est préoccupé plus qu'autrefois des catastrophes dont nous sommes menacés par le monde des comètes ; mais ces craintes ont pris une direction moins vague. La certitude qu'il existe, au sein même de notre monde planétaire, des comètes qui reviennent, à de courts intervalles, parcourir les régions où la Terre exécute ses mouvements ; les perturbations considérables que

Jupiter et Saturne produisent dans leurs orbites, perturbations dont le résultat peut être de transformer un astre indifférent en un astre redoutable ; la comète de Biela, qui traverse l'orbite de la Terre ; cet éther cosmique dont la résistance tend à rétrécir toutes les orbites ; les différences individuelles de ces astres qui laissent soupçonner les degrés les plus divers dans la quantité de matière dont leurs noyaux sont formés ; tels sont actuellement les motifs de nos appréhensions, et ils remplacent, par leur nombre, les vagues terreurs qu'ont inspirées aux siècles plus reculés ces *épées enflammées*, ces *étoiles chevelues* qui menaçaient le monde d'un embrasement universel.

Les motifs de sécurité qu'on a empruntés au calcul des probabilités s'adressent à l'entendement éclairé par une étude raisonnée du sujet, mais ils ne sauraient produire la conviction profonde qui résulte de l'assentiment de toutes les forces de notre âme ; ils sont impuissants sur l'imagination ; et le reproche qu'on a fait à la science moderne de vouloir étouffer les préoccupations qu'elle a éveillées elle-même, n'est pas dénué de justesse. L'imprévu, l'extraordinaire feront toujours naître la crainte, jamais la joie ni l'espérance (57); c'est là une secrète loi de la nature humaine qu'un investigateur sérieux ne doit pas méconnaître. Aussi, dans tous les pays, à toutes les époques, l'aspect étrange d'une comète, la lueur blafarde de sa chevelure, son apparition subite dans le firmament, ont-ils produit sur l'esprit des peuples l'effet d'une puissance redoutable, menaçante pour l'ordre anciennement

établi dans la création ; et comme le phénomène est limité à une courte durée, il en résulte la croyance que son action doit être immédiate ou du moins prochaine ; or, les événements de ce monde offrent toujours, dans leur enchaînement, un fait que l'on peut regarder comme l'accomplissement d'un présage funeste. On dirait pourtant que les tendances populaires ont pris aujourd'hui une autre direction, et qu'elles ont revêtu une forme moins sombre : c'est ainsi que, dans les gracieuses vallées du Rhin et de la Moselle, on accorde à ces astres si longtemps calomniés une influence bienfaisante sur la fécondité des vignobles. A notre époque, les comètes abondent et les faits contraires à ce mythe météorologique n'ont pas manqué ; mais rien n'a pu ébranler la croyance nouvelle que ces astres errants amènent de la chaleur.

J'abandonne maintenant ce sujet pour passer à une autre série de phénomènes encore plus mystérieux ; je veux parler de ces petits astéroïdes dont les fragments prennent le nom de *pierres météoriques* ou d'*aérolithes*, dès qu'ils ont pénétré dans notre atmosphère. Si j'aborde ici, comme pour les comètes, des détails qui peuvent paraître, de prime-abord, étrangers au plan de cet ouvrage, ce n'est pas sans y avoir mûrement réfléchi. Nous avons montré tout ce que les caractères distinctifs de ces derniers astres ont de variable et d'individuel, et combien la science, si avancée sous le rapport des mesures et des calculs, paraît en retard dès qu'il s'agit de la constitution phy-

sique des comètes. C'est qu'en effet il n'est guère possible actuellement de discerner, au milieu de cette masse d'observations plus ou moins exactes, les faits généraux et essentiels des accidents ou des particularités. Les choses étant ainsi, nous avons dû nous borner à décrire les principaux caractères physiques, ce qu'on pourrait appeler les différences de physionomie, à comparer les durées des révolutions, à signaler enfin les variations extrêmes, soit dans les dimensions des orbites, soit dans les distances aux astres les plus importants. Dans ces phénomènes comme dans ceux dont nous allons parler, les types individuels dominent forcément l'ensemble du tableau; pour atteindre à la réalité, il faut faire ressortir plus énergiquement les contours.

Tout porte à croire que les étoiles filantes, les bolides et les pierres météoriques sont de petits corps qui se meuvent autour du Soleil en décrivant des sections coniques, et en obéissant de tout point, comme les planètes, aux lois générales de la gravitation. Quand ces corps viennent à rencontrer la Terre, ils deviennent lumineux aux limites de notre atmosphère; souvent alors ils se divisent en fragments recouverts d'une couche noirâtre et brillante, et tombent dans un état de caléfaction plus ou moins marqué. Une analyse minutieuse des observations qu'on a pu recueillir à certaines époques où les étoiles filantes apparaissent périodiquement (à Cumana en 1799, et dans l'Amérique du Nord en 1833 et en 1834), n'a pas permis de considérer les bolides

et les étoiles filantes comme deux ordres de phénomènes distincts; non-seulement les étoiles filantes sont souvent entremêlées de bolides, mais encore leurs disques apparents, leurs traînées lumineuses et leurs vitesses réelles n'offrent que des différences de grandeur, et non des différences essentielles. Tandis qu'on voit d'énormes bolides, accompagnés de fumée et de détonations, éclairer le ciel d'une lumière assez vive pour être sensible, même en plein jour (58), sous l'ardent soleil des tropiques, on voit aussi des étoiles filantes si petites, qu'elles apparaissent comme autant de points traçant sur la voûte céleste d'innombrables lignes phosphorescentes (59). Mais ces corps brillants qui sillonnent le firmament d'étincelles stellaires, sont-ils tous d'une seule et même nature? C'est une question qu'il faut laisser actuellement sans réponse. Je revins des zones équinoxiales sous cette impression que dans les plaines ardentes des tropiques, comme à 4 ou 5 mille mètres au-dessus du niveau de la mer, les étoiles filantes sont plus fréquentes, plus richement colorées que dans les zones froides ou tempérées ; mais c'est dans la pureté et dans l'admirable transparence de l'atmosphère de ces contrées qu'il faut en chercher la cause (60) ; là, notre regard pénètre plus facilement les couches d'air qui nous entourent. C'est aussi à la pureté du ciel de Bokhara que sir Alexander Burnes attribue « le magnifique spectacle, sans cesse renaissant, des étoiles filantes à couleurs variées » qu'il put y admirer.

Au phénomène brillant des bolides viennent se rattacher les chutes de pierres météoriques qui s'enfoncent parfois dans le sol jusqu'à 3 et 5 mètres de profondeur. Cette dépendance mutuelle est établie par des faits nombreux, et surtout par les observations fort exactes que l'on possède sur les aérolithes qui tombèrent à Barbotan dans le département des Landes (24 juillet 1790), à Siène (16 juin 1794), à Weston dans le Connecticut (14 décembre 1807), et à Juvenas, département de l'Ardèche (15 juin 1821). Ces phénomènes se présentent aussi sous un tout autre aspect : d'abord, un petit nuage très-obscur apparaît subitement dans un ciel serein; puis, au milieu d'explosions qui ressemblent au bruit du canon, les masses météoriques sont précipitées sur le sol. On a vu quelquefois ces nuages parcourir des contrées entières et en joncher la surface de milliers de fragments très-inégaux, et de nature identique.

On voit aussi, mais plus rarement, les aérolithes tomber d'un ciel parfaitement pur, sans formation préalable d'aucun nuage précurseur. Ce cas s'est présenté, il y a quelques mois (16 septembre 1843), lors du grand aérolithe qui tomba, avec un fracas semblable à celui de la foudre, à Kleinwenden, non loin de Mulhouse. Enfin, des faits établissent une analogie intime entre les étoiles filantes et les bolides qui lancent sur la terre des pierres météoriques; car il arrive souvent que ces bolides atteignent à peine les dimensions des petites étoiles de nos feux d'artifices,

Quelle est ici la fòrce productrice? Quelles sont les actions ou physiques ou chimiques qui sont en jeu dans ces phénomènes? Les molécules dont se composent ces pierres météoriques si compactes, étaient-elles originairement à l'état gazeux ou simplement disséminées comme dans les comètes, et se sont-elles condensées dans l'intérieur du météore au moment même où elles commencèrent à briller à nos yeux? Que se passe-t-il dans ces nuages noirs où il tonne pendant des minutes entières avant que les aérolithes en soient précipités? Faut-il croire que ces étoiles filantes laissent tomber aussi quelque matière compacte, ou bien seulement une sorte de brouillard, de poussière météorique formée de fer et de nickel (61)? Ces questions sont encore environnées d'une obscurité profonde. On a mesuré l'effrayante rapidité, la vitesse toute planétaire des étoiles filantes, des bolides et des aérolithes; on connaît le phénomène dans ce qu'il offre de général, on a pu constater une certaine uniformité dans les apparences; mais les antécédents cosmiques, les transmutations originaires de la substance restent complétement ignorés.

Si les pierres météoriques circulent dans l'espace, déjà formées en masses compactes [d'une densité plus faible pourtant que la densité moyenne de la Terre] (62), il faut admettre qu'elles ne forment qu'un petit noyau, entouré de gaz ou de vapeurs inflammables, dans ces énormes bolides dont les diamètres réels, déduits des hauteurs et des dia-

mètres apparents, se sont trouvés de 160 et de 850 mètres. Les plus grandes masses météoriques que nous connaissions sont celles de Bahia, dans le Brésil, et celle d'Otumpa, dans le Choco, que Rubi de Celis a décrites ; elles n'ont que 2 mètres et 2 mètres et demi de longueur. Quant à la pierre d'Ægos-Potamos, mentionnée déjà dans la chronique des marbres de Paros et si célèbre dans l'antiquité, elle tomba vers l'époque de la naissance de Socrate : suivant la description qui nous en est restée, elle était grosse comme une double meule de moulin; son poids était celui de la charge entière d'une voiture. Malgré les tentatives que le voyageur Brown fit inutilement pour la découvrir, je ne renonce pas à l'espoir qu'un jour on pourra retrouver, plus de 2300 ans après sa chute, cette masse météorique dont la destruction ne me paraît guère admissible. Cet espoir est d'autant mieux fondé que la Thrace est maintenant plus que jamais accessible aux Européens. Au commencement du xᵉ siècle, il tomba un aérolithe colossal dans la rivière de Narni; d'après un document découvert par Pertz, il dépassait d'une aune entière le niveau des eaux. Il faut remarquer ici que toutes ces masses météoriques anciennes ou modernes, doivent être considérées comme les principaux fragments du noyau qui s'est brisé avec explosion, soit dans le bolide enflammé, soit dans le nuage obscur. Mais quand je considère l'énorme vitesse, mathématiquement démontrée, avec laquelle les pierres météoriques se précipitent des couches extrêmes de l'atmosphère

jusque sur le sol, et la courte durée de leur trajet, je ne puis me résoudre à croire qu'un si petit espace de temps ait suffi à condenser une matière gazéiforme en un noyau solide, métallique, avec des incrustations parfaitement formées de cristaux d'olivine, de labrador et de pyroxène.

Au reste, toutes ces masses météoriques possèdent un caractère commun, quelles que soient les différences de leur constitution chimique interne; c'est un aspect bien prononcé de fragment, et souvent une forme prismatique ou pyramidale à sommet tronqué, à faces larges et un peu courbes, à angles arrondis. Or, d'où peut provenir, dans ces corps qui circulent au milieu de l'espace, comme les planètes, cette forme fragmentaire signalée d'abord par Schreibers? Avouons-le, ici, comme dans la sphère de la vie organique, tout ce qui se rattache aux périodes de formation est entouré d'obscurité.

Les masses météoriques commencent à briller ou à s'enflammer à des hauteurs où règne déjà un vide presque absolu. A la vérité, les nouvelles recherches que l'on doit à Biot sur l'important phénomène des crépuscules (63), abaissent considérablement cette ligne qu'on nomme d'ordinaire, et peut-être avec trop de hardiesse, la limite de notre atmosphère; d'ailleurs, les phénomènes lumineux peuvent se produire indépendamment de la présence du gaz oxygène, et Poisson inclinait à croire que les aérolithes s'enflamment bien au delà des dernières couches de notre enveloppe gazeuse. Mais cette partie de la

science, comme celle qui s'occupe des autres corps plus grands dont se compose le système solaire, n'offre de base solide à nos raisonnements et à nos recherches que là où le calcul et les mesures géométriques peuvent s'appliquer.

Déjà en 1686, Halley considérait comme un phénomène cosmique le grand météore qui parut à cette époque, et dont le mouvement s'effectuait en sens inverse de celui de la terre (64). Mais c'est à Chladni qu'appartient le mérite d'avoir le premier reconnu, en toute généralité, la nature du mouvement des bolides et leurs rapports avec les pierres qui paraissent tomber de l'atmosphère (65). Plus tard, les travaux de Denison Olmsted, à Newhaven (Massachusets), confirmèrent d'une manière éclatante l'hypothèse qui assigne à ces phénomènes une origine cosmique. Lors de l'apparition des étoiles filantes dans la nuit du 12 au 13 novembre 1833, époque devenue depuis si célèbre, Olmsted montra que, d'après le témoignage de tous les observateurs, les bolides aussi bien que les étoiles filantes paraissaient diverger d'un seul et même point de la voûte céleste, situé près de l'étoile γ de la constellation du Lion. Ce point resta constamment le point commun de divergence des météores, quoique l'azimuth et la hauteur apparente de l'étoile eussent varié notablement pendant la longue durée des observations. Une telle indépendance du mouvement de rotation de la Terre prouve que ces météores venaient de régions situées hors de notre atmosphère, et qu'avant de l'atteindre ils parcouraient les espaces

célestes. D'après les calculs d'Encke (66), basés sur l'ensemble des observations qui furent faites dans les États-Unis d'Amérique, entre les latitudes de 35° et de 40°, le point de l'espace d'où ces météores semblaient tous diverger, était précisément celui vers lequel le mouvement de la Terre était dirigé à cette époque. Les apparitions de novembre se reproduisirent en 1834 et en 1837, et furent toutes observées en Amérique; celle de 1838 le fut à Brême : ces observations constatèrent de nouveau le parallélisme général des trajectoires, ainsi que leur direction commune vers le point du ciel opposé à la constellation du Lion. Comme les étoiles filantes périodiques affectent une direction parallèle, plus généralement que les étoiles filantes sporadiques, on a cru remarquer en 1839, dans l'apparition du mois d'août (les larmes de saint Laurent), que les météores venaient, pour la plupart, d'un point situé entre Persée et le Taureau, point vers lequel la Terre se dirigeait alors. Un phénomène aussi frappant que la direction rétrograde de toutes ces orbites en novembre et en août, mérite certainement d'être établi ou infirmé par les observations les plus exactes qu'on pourra recueillir à l'avenir.

Rien n'est plus variable que la hauteur des étoiles filantes, c'est-à-dire de la portion visible de leur trajectoire; elle oscille entre 3 et 26 myriamètres. On doit cet important résultat, ainsi qu'une connaissance plus exacte de l'énorme vitesse de ces problématiques astéroïdes, aux observations simultanées de Brandes et de Benzenberg, et aux mesures de pa-

rallaxe qu'ils firent à l'aide d'une base de 15000 mètres de longueur (67). Leur vitesse relative est de 3 à 7 myriamètres par seconde; elle est donc de l'ordre de celle qui anime les planètes. D'abord cette vitesse vraiment planétaire des bolides et des étoiles filantes (68), puis la direction bien constatée des mouvements en sens inverse de celui de la Terre, tels sont les principaux arguments qu'on oppose d'ordinaire à l'hypothèse qui attribue l'origine des aérolithes à de prétendus volcans lunaires encore en activité. A la vérité, quand il s'agit d'un petit astre dépourvu d'atmosphère, toute supposition numérique sur l'énergie des forces volcaniques est arbitraire de sa nature, et rien n'empêche d'y admettre une réaction de l'intérieur contre la couche extérieure cent fois plus énergique, par exemple, que dans nos volcans actuels. On expliquerait encore comment des masses, lancées par un satellite dont le mouvement s'effectue de l'ouest à l'est, peuvent nous paraître animées d'un mouvement rétrograde : il suffit pour cela que la Terre arrive plus tard que ces projectiles dans la partie de son orbite qu'ils auront traversée. Mais si on considère l'ensemble des faits dont j'ai dû faire l'énumération, afin d'éviter le reproche qui s'adresse aux théories hasardées, on trouve que l'hypothèse de l'origine sélénitique de ces météores suppose un concours de circonstances nombreuses, dont le hasard seul pourrait amener la réalisation (69). Il est plus simple d'admettre l'existence de petites masses planétaires, circulant dès l'origine dans les espaces célestes, et cette

hypothèse s'accorde mieux avec les idées acceptées déjà sur la formation de notre système solaire.

Il est très-probable que ces masses cosmiques passent en grand nombre dans le voisinage de notre atmosphère et continuent leur course autour du Soleil, sans avoir éprouvé d'autre effet, de l'attraction du globe terrestre, qu'une modification dans l'excentricité de leur orbite. Sans doute, nous ne les revoyons ensuite qu'après de longues années et lorsqu'elles ont accompli un certain nombre de révolutions. Quant aux météores ascendants, que Chladni, moins bien inspiré cette fois, expliquait par la réaction des couches d'air violemment comprimées pendant une chute rapide, on put voir d'abord, dans ces phénomènes, l'effet d'une force mystérieuse qui tendrait à lancer ces corps loin de la terre; mais Bessel a montré que de tels faits seraient théoriquement inadmissibles; puis, en s'appuyant des calculs exécutés par Feldt avec le plus grand soin, il a prouvé que la réalité de ces prétendus faits s'évanouit, même dans les observations qui paraissent l'établir, si l'on tient compte des erreurs inhérentes à l'appréciation simultanée, faite par deux observateurs éloignés, de la disparition d'une même étoile filante. Ainsi cette ascension des météores ne doit pas être considérée jusqu'ici comme un résultat de l'observation (70). Olbers pensait que les bolides enflammés pouvaient éclater et lancer verticalement des fragments, à la manière des fusées; il croyait que cette rupture altérerait, en certains cas, la direction de leurs trajectoires; mais ces

vues doivent être l'objet d'observations nouvelles.

Les étoiles filantes tombent tantôt rares et isolées, c'est-à-dire *sporadiques*, tantôt en essaims et par milliers. Ces dernières apparitions que les écrivains arabes ont comparées à des nuées de sauterelles, sont périodiques et suivent des directions généralement parallèles. Les plus célèbres sont celle du 12 au 14 novembre et celle du 10 août, jour de la fête de saint Laurent, dont les larmes de feu paraissent avoir été autrefois, en Angleterre, le symbole traditionnel du retour périodique de ces météores (71). Déjà Klœden, à Potsdam, avait signalé, dans la nuit du 12 au 13 novembre 1823, l'apparition d'une multitude d'étoiles filantes et de bolides de toute grandeur. En 1832, on vit le même phénomène dans toute l'Europe, depuis Portsmouth jusqu'à Orenburg, sur les bords de l'Oural, et même à l'île de France, dans l'hémisphère austral. Cependant l'idée que certains jours de l'année sont affectés à ces grands phénomènes ne prit naissance qu'en 1833, à l'occasion de l'énorme essaim d'étoiles filantes qu'Olmsted et Palmer observèrent en Amérique, dans la nuit du 12 au 13 novembre ; alors elles tombaient comme des flocons de neige; en un seul endroit, pendant neuf heures d'observation, on en compta plus de 240000. Palmer remonta à l'apparition des météores de 1799 qui fut décrite par Ellicot et par moi (72) ; il résultait du rapprochement que j'avais fait de toutes les observations de cette époque, que l'apparition avait été simultanée pour les lieux situés dans le Nouveau Continent, depuis

l'équateur jusqu'à New-Herrnhut dans le Groenland (latitude 64° 14′), entre 46° et 82° de longitude. On reconnut, avec étonnement, l'identité des deux époques. Ce flux de météores qui sillonnèrent le firmament entier, du 12 au 13 novembre 1833, et qu'on aperçut depuis la Jamaïque jusqu'à Boston (lat. 40° 21′), se reproduisit en 1834, dans la nuit du 13 au 14 novembre, aux États-Unis d'Amérique; mais le phénomène eut alors une intensité un peu moindre. Depuis cette époque, sa périodicité se confirma en Europe de la manière la plus régulière.

L'apparition de saint Laurent (9-14 août), deuxième pluie d'étoiles filantes, procède tout aussi régulièrement que la première. Déjà vers le milieu du dernier siècle, Musschenbroek avait signalé la fréquence des météores qui paraissent dans le mois d'août (73); mais Quételet, Olbers, Benzenberg, ont prouvé, les premiers, la périodicité de ces apparitions et en ont fixé l'époque à la fête de saint Laurent. Sans doute l'avenir nous réserve la découverte d'autres époques analogues, affectées pareillement aux retours périodiques de ces phénomènes (74) : tels sont peut-être celle du 22 au 25 avril, celle du 6 au 12 décembre, et, comme suite des recherches de Capocci, les dates du 27 au 29 novembre ou le 17 juillet.

Ces phénomènes ont paru jusqu'ici se produire dans une indépendance complète de toutes les circonstances locales, telles que la hauteur du pôle, la température de l'atmosphère, etc... Cependant leur apparition est souvent accompagnée d'un autre phéno-

mène météorologique, et, quoique cette coïncidence puisse être un simple jeu du hasard, il n'est peut-être pas hors de propos de la signaler. Une aurore boréale très-intense accompagnait la plus magnifique apparition d'étoiles filantes que l'on connaisse, celle du 12 au 13 nov. 1833, dont nous devons la description à Olmsted. A Brême, en 1838, même accord des deux phénomènes : toutefois, la chute périodique des étoiles filantes y fut moins remarquable qu'à Richmond, près de Londres. J'ai signalé, dans un autre écrit, la remarque de l'amiral Wrangel (75), et j'eus souvent l'occasion de l'entendre lui-même confirmer cette singulière observation. Lors de son voyage sur les côtes sibériennes de la mer Glaciale, l'amiral a vu, dans un ciel brillant des lueurs d'une aurore boréale, certaines parties restées obscures s'allumer tout à coup lorsqu'elles étaient traversées par une étoile filante, et garder ensuite leur éclat rougeâtre.

Ces myriades d'astéroïdes constituent sans doute divers courants qui viennent couper l'orbite terrestre comme le fait la comète de Biela. En poursuivant cette idée, on peut imaginer que leur ensemble forme un anneau continu, dans l'intérieur duquel ils suivent une direction commune. Déjà les petites planètes, situées entre Mars et Jupiter, sauf Pallas, nous offrent des relations analogues dans leurs orbites si étroitement entrelacées. Mais s'il s'agit de la théorie même de ces anneaux, il faut avouer que bien des points restent encore à décider : par exemple, les époques de ces apparitions éprouvent-elles des variations ; les

retards qu'elles subissent et que j'ai signalés depuis longtemps proviennent-ils d'une rétrogradation régulière, ou d'un simple déplacement oscillatoire de la ligne des nœuds, c'est-à-dire de la ligne d'intersection du plan de l'orbite terrestre avec le plan de l'anneau? Peut-être ces petits astres sont-ils groupés très-irrégulièrement, peut-être leurs distances mutuelles sont-elles fort inégales, et leur zone a-t-elle une largeur si considérable, qu'il faudrait à la Terre des jours entiers pour la traverser. Le monde des satellites de Saturne nous présente déjà un groupe d'une immense largeur formé d'astres intimement reliés entre eux. L'orbite que parcourt le dernier satellite, le septième, est si vaste, que la Terre, dans son mouvement autour du Soleil, emploie trois jours à parcourir un espace égal au diamètre de cette orbite. Supposons maintenant que ces anneaux, que nous considérons comme formés des courants périodiques d'étoiles filantes, au lieu d'être homogènes, ne contiennent qu'un petit nombre de parties où les groupes soient assez denses pour donner lieu à une de ces grandes apparitions, et l'on comprendra pourquoi les brillants phénomènes du mois de novembre, en 1799 et en 1833, se reproduisent si rarement. Olbers avait trouvé dans ses profondes méditations sur ce sujet difficile, quelques raisons d'annoncer, pour l'époque du 12 au 14 nov. 1867, le premier retour de ce grand phénomène où les étoiles filantes, mêlées de bolides, tombent du ciel comme des flocons de neige.

Quelquefois l'apparition de novembre n'a été vi-

sible que pour des parties très-restreintes de la surface terrestre. Par exemple en 1837, elle fut brillante en Angleterre et on la comparait à une averse de météores (*meteoric shower*), tandis qu'à Braunsberg, en Prusse, un observateur fort exercé et très-attentif ne vit, pendant cette même nuit, qu'un petit nombre d'étoiles filantes isolées; pourtant le ciel resta constamment serein, et l'observation, commencée dès sept heures du soir, fut prolongée jusqu'au lever du soleil. Bessel a conclu de ces faits qu'un groupe peu étendu des astéroïdes dont l'anneau se compose, a pu atteindre la région terrestre vers le point où l'Angleterre est située, tandis que les contrées plus orientales traversaient une partie de l'anneau beaucoup moins riche comparativement (76). Si l'hypothèse d'une rétrogradation régulière ou d'une simple oscillation de la ligne des nœuds prenait de la consistance, les documents anciens deviendraient l'objet d'un intérêt tout spécial. Telles sont les annales chinoises où l'on trouve, parmi les notices cométographiques, plusieurs mentions relatives à des apparitions de météores qui remontent à des époques antérieures à celles de Tyrtée ou de la deuxième guerre Messénienne. Citons, entre autres, deux apparitions qui eurent lieu dans le mois de mars, et dont l'une date de 687 ans avant l'ère chrétienne. Édouard Biot en a fait la remarque : parmi les cinquante-deux apparitions qu'il a recueillies dans les annales chinoises, celles qui ont eu lieu du 20 au 22 juillet (ancien style) sont les plus fréquentes; elles pourraient bien correspondre

à l'apparition actuelle de la fête de saint Laurent qui aurait ainsi avancé (77). Boguslawski fils a découvert, dans les annales de l'Église de Prague (*Benessii de Horowic Chronicon Ecclesiæ Pragensis*), une apparition d'étoiles filantes à la date du 21 octobre 1366 (anc. st.). Si cette apparition qui fut alors visible en plein jour, répond au phénomène actuel du mois de novembre, on peut conclure de la précession en 477 ans, que le système entier des météores, ou plutôt, que son centre de gravité décrit d'un mouvement rétrograde une orbite autour du Soleil. Enfin il résulte des théories développées plus haut que s'il se rencontre des années où les deux apparitions d'août et de novembre font défaut à la fois, sur toute la surface de la terre, il faut en chercher la cause, soit dans une interruption de l'anneau, dans les intervalles que laisseraient entre eux les groupes successifs d'astéroïdes, soit, comme le veut Poisson (78), dans les actions planétaires dont l'effet serait de modifier et la forme et la situation de l'anneau.

Nous l'avons dit, ces masses solides qui tombent du ciel sur la terre sont lancées par les bolides enflammés que l'on voit pendant la nuit; pendant le jour, et surtout par un ciel serein, on les voit tomber avec fracas du sein d'un nuage sombre; elles sont alors fortement échauffées, mais non incandescentes Or, quelle que soit leur origine, ces masses portent en général un caractère commun qu'il est impossible de méconnaître; quelle que soit la date de leur chute, en quelque lieu du globe qu'on les ait recueillies, ce sont

les mêmes formes extérieures, les mêmes propriétés physiques de la croûte, les mêmes modes d'agrégation chimique de leurs éléments. Une parité d'aspect et de constitution aussi frappante n'a point échappé aux observateurs, mais quand on la poursuit dans les individus, on rencontre aussi de notables exceptions. Que l'on compare les aérolithes dont Pallas a fait mention, la masse de fer malléable de Hradschina dans le comitat d'Agram, et celle des rives du Sisim, dans le gouvernement d'Ieniseisk, ou bien encore celles que j'ai rapportées de Mexico (79), et qui toutes contiennent 96 pour 100 de fer, avec les aérolithes de Siène, où l'on trouve à peine $\frac{1}{100}$ de ce métal, avec ceux d'Alais, de Jonzac et de Juvenas, qui tous sont dépourvus de fer métallique et qui se réduisent à un mélange dont le minéralogiste peut distinguer les éléments tout séparés déjà en cristaux : est-il possible de concevoir une opposition plus tranchée? Aussi a-t-il fallu distinguer ces masses cosmiques en deux classes, celle des fers météoriques combinés avec le nickel, et celle des pierres à grains fins ou grossiers. Un autre caractère particulier aux aérolithes, c'est l'aspect de leur croûte extérieure dont l'épaisseur ne dépasse jamais quelques dixièmes de millimètre; l'éclat de la surface ressemble à celui de la poix; on y voit aussi quelquefois des veines ou des ramifications très-marquées (80). Un seul, que je sache, fait exception sous ce rapport : c'est l'aérolithe de Chantonnay (Vendée), dont les pores et les boursouflures constituent, comme dans l'aérolithe de Juvenas, une se-

conde singularité presque aussi rare. Dans tous les autres, la croûte noire est distincte du reste de la masse d'un gris assez clair, et la ligne de séparation y est tout aussi nette que dans le bloc de granit blanc, à gangue noire ou gris de plomb (81), que j'ai rapporté des cataractes de l'Orénoque et qu'on retrouve dans beaucoup d'autres cataractes, celles du Nil et du fleuve Congo, par exemple. Le feu le plus violent de nos fours à porcelaine ne produirait rien d'analogue à cette croûte, si nettement distincte de la masse des aérolithes dont l'intérieur n'a subi aucune altération. A la vérité, quelques faits semblent indiquer, dans ces fragments météoriques, une sorte de ramollissement; mais en général, le mode d'agrégation de leurs parties, l'absence d'aplatissement après la chute et le peu de chaleur qu'ils possédaient à cet instant, ne permettent point d'admettre que leur masse intérieure ait été en fusion pendant le court trajet qu'ils ont parcouru, depuis les limites de l'atmosphère jusqu'à la surface de la terre.

On retrouve dans ces corps, dont l'analyse chimique a été si bien faite par Berzélius, les mêmes éléments que nous voyons répandus à la surface de la terre; ce sont : huit métaux, le fer, le nickel, le cobalt, le manganèse, le chrôme, le cuivre, l'arsenic et l'étain; puis cinq terres; enfin la potasse, la soude, le soufre, le phosphore et le charbon; c'est le tiers du nombre des corps simples actuellement connus. Quoiqu'elles soient formées des mêmes éléments chimiques que les espèces minérales de nos montagnes et de nos

plaines, les masses météoriques n'en présentent pas moins, dans la manière dont ces éléments y sont combinés, un caractère tout différent, un aspect étranger à notre globe. Le fer à l'état natif qu'on rencontre dans presque tous les aérolithes leur imprime aussi un cachet spécial; mais on n'en saurait attribuer le type exclusif à la Lune; car, pourquoi d'autres astres ne seraient-ils pas, comme elle, dépourvus d'eau, et privés de ces réactions chimiques d'où naît l'oxydation? Quant à ces vésicules gélatineuses, quant à ces masses organiques, semblables à la *tremella nostoc*, qu'on a regardées, depuis le moyen âge, comme un produit cosmique, résidu des étoiles filantes; quant à ces pyrites de Sterlitamak (à l'ouest de l'Oural), qui passaient pour des noyaux de grêlons (82), il faut les classer parmi les mythes de la météorologie. Les aérolithes à texture fine et grenue, composés d'olivine, d'augite et de labrador (83), sont, d'après la remarque de Gustave Rose, les seuls qui se rapprochent de nos minéraux (tel est l'aérolithe de Juvenas, assez semblable à la dolérite). Ils contiennent en effet des substances cristallines qu'on retrouve dans l'écorce terrestre; et même dans le fer météorique de Sibérie, cité par Pallas, l'olivine ne se distingue de l'olivine ordinaire que par l'absence du nickel, auquel l'oxyde d'étain s'est substitué (84). Si on se rappelle que l'olivine météorique contient, comme nos basaltes, 47 ou 49 pour 100 de magnésie, et qu'elle forme plus de la moitié des parties terreuses des aérolithes, d'après Berzélius, on ne s'étonnera point de la grande

quantité de silicates de magnésie qu'on trouve dans ces masses cosmiques. Et puisque l'aérolithe de Juvenas renferme des cristaux séparables d'augite et de labrador, on peut conclure de l'analyse des pierres météoriques de Château-Renard, de Blansko et de Chantonnay, que la première est probablement une diorite composée de hornblende et d'albite, et que les deux autres sont des combinaisons de hornblende et de labrador. Mais ces analogies me paraissent de bien faibles arguments à citer en faveur de l'origine terrestre ou atmosphérique qu'on a voulu assigner aux aérolithes. Pourquoi, et ici je pourrais rappeler le célèbre entretien de Newton et de Conduit, à Kensington (85), pourquoi les éléments qui forment un même groupe d'astres, un même système planétaire, ne seraient-ils pas en grande partie identiques? Comment admettre en principe l'hétérogénéité des planètes, en présence du beau système qui explique leur genèse par la condensation graduelle d'anneaux gazeux que l'atmosphère solaire aurait successivement abandonnés? A mon avis, nous sommes tout aussi peu autorisés à attribuer exclusivement au nickel, au fer, à l'olivine ou au pyroxène (augite) des aérolithes, la qualification de substances terrestres, que je pourrais l'être à désigner, par exemple, comme espèces européennes de la flore asiatique, ces plantes allemandes que j'ai rencontrées par delà l'Oby. Et si les astres d'un même système se composent des mêmes éléments, comment refuser d'admettre que ces éléments, soumis aux lois d'une

mutuelle attraction, puissent se combiner dans des rapports déterminés, et donner naissance soit aux dômes resplendissants de neige ou de glace qui couvrent les régions polaires de Mars, soit, dans d'autres astres, aux petites masses météoriques qui renferment, comme les minéraux de nos montagnes, des cristaux d'olivine, d'augite et de labrador? On ne doit jamais rien abandonner à l'arbitraire, et jusque dans le domaine des conjectures, il faut que l'esprit sache se laisser guider par l'induction.

A certaines époques, le disque du Soleil s'obscurcit momentanément, et sa lumière s'affaiblit à tel point qu'on voit les étoiles en plein midi. Un phénomène de ce genre qui ne peut s'expliquer ni par des brouillards, ni par des cendres volcaniques, eut lieu en 1547, vers l'époque de la fatale bataille de Mühlberg, et dura trois jours entiers. Képler voulut en chercher la cause, d'abord dans l'interposition d'une *materia cometica*, puis dans un nuage noir que des émanations fuligineuses, sorties du corps même du Soleil, auraient contribué à former. Chladni et Schnurrer attribuaient au passage de masses météoriques devant le disque du Soleil, les phénomènes analogues des années 1090 et 1203, qui durèrent moins longtemps, le premier pendant trois heures, le second pendant six heures seulement. Depuis que les étoiles filantes sont considérées comme formant un anneau continu, situé dans le sens de leur direction commune, on a remarqué une singu-

lière coïncidence entre les retours périodiques des pluies de météores et les manifestations des mystérieux phénomènes dont nous venons de parler. D'ingénieuses recherches, une discussion approfondie de tous les faits connus ont même conduit Adolphe Erman à signaler deux époques de l'année où cette coïncidence s'est manifestée d'une manière frappante, le 7 février et le 12 mai. Or, la première de ces deux dates répond à la conjonction des étoiles filantes qui sont, dans le mois d'août, en opposition avec le Soleil; la seconde répond à la conjonction des astéroïdes de novembre et aux fameux *jours froids* des croyances populaires (saint Mamert, saint Pancrace et saint Servais) (86).

Les philosophes grecs, dont on connaît le peu de penchant pour l'observation, mais qui furent si ardents et si féconds en systèmes, lorsqu'il s'agissait d'expliquer les phénomènes qu'ils n'avaient fait qu'entrevoir, nous ont laissé, sur les étoiles filantes et les aérolithes, des aperçus très-voisins des idées que l'on accepte généralement aujourd'hui sur l'origine cosmique de ces météores. « Quelques philo-» sophes pensent, dit Plutarque dans la vie de » Lysander (87), que les étoiles filantes ne provien-» nent point de parties détachées de l'éther qui » viendraient s'éteindre dans l'air, aussitôt après » s'être enflammées; elles ne naissent pas davantage » de la combustion de l'air qui se dissout, en grande » quantité, dans les régions supérieures; ce sont plu-» tôt des *corps célestes qui tombent*, c'est-à-dire qui,

» soustraits d'une certaine manière au mouvement de » rotation général, sont précipités ensuite, irrégulièrement, non-seulement sur les régions habitées » de la Terre, mais aussi dans la grande mer, d'où » vient qu'on ne les retrouve pas. » Diogène d'Apollonie s'exprime en termes encore plus nets (88): « parmi les étoiles visibles, se meuvent aussi des étoiles » invisibles, auxquelles, par conséquent, on n'a pu » donner de nom. Celles-ci tombent souvent sur la » Terre et s'éteignent, comme cette *étoile de pierre*, » qui tomba toute en feu près d'Ægos Potamos. » Sans doute une doctrine plus ancienne avait inspiré le philosophe d'Apollonie, qui croyait aussi que les astres étaient semblables à la pierre ponce. En effet, Anaxagore de Clazomène se figurait tous les corps célestes « comme des fragments de rochers que » l'éther, par la force de son mouvement gyratoire, » aurait arrachés à la Terre, enflammés et transformés » en étoiles. » Ainsi, l'école ionique plaçait, avec Diogène d'Apollonie, les aérolithes et les astres dans une seule et même classe; elle leur assignait une même origine terrestre, mais en ce sens seulement que la Terre, comme corps central, aurait fourni la matière de tous ceux qui l'entourent (89), de même que nos idées actuelles font naître le système planétaire de l'atmosphère primitivement dilatée d'un autre corps central, le Soleil. Il faut donc se garder de confondre ces idées avec ce qu'on nomme communément l'origine terrestre ou atmosphérique des aérolithes, ou avec cette singulière opinion d'Aristote, qui ne voyait

dans l'énorme masse d'Ægos Potamos qu'une pierre enlevée par un ouragan.

Il est une disposition d'esprit plus nuisible encore peut-être que la crédulité dénuée de toute critique : c'est une arrogante incrédulité qui rejette les faits sans daigner les approfondir. Ces deux travers de l'esprit font obstacle aux progrès de la science. En vain, depuis vingt-cinq siècles, les annales des peuples parlaient de pierres tombées du ciel ; malgré tant de faits appuyés sur des témoignages oculaires, irrécusables, tels que ces bœtylies qui jouèrent un si grand rôle dans le culte des météores chez les anciens ; cet aérolithe que les compagnons de Cortez virent à Cholula, et qui était tombé sur la pyramide voisine ; ces masses de fer météorique dont les califes et les princes mongols se firent forger des lames de sabre ; ces hommes tués par des pierres tombées du ciel : un frate à Crémone le 4 septembre 1511, un autre moine à Milan, en 1650, deux matelots suédois frappés sur leur vaisseau en 1674 ; malgré tant de preuves accumulées, un phénomène cosmique de cette importance fut laissé dans l'oubli, et ses intimes rapports avec le monde planétaire restèrent ignorés jusqu'au temps de Chladni, illustré déjà par sa découverte des lignes nodales. Mais aujourd'hui, il est impossible de contempler d'un œil indifférent les magnifiques apparitions des nuits de novembre et d'août ; je dirai plus, un seul de ces rapides météores suffira souvent à faire naître de sérieuses méditations. Voir le mouvement surgir soudain au milieu du calme de la nuit,

troubler un instant l'éclat paisible de la voûte étoilée ; suivre de l'œil le météore qui tombe, en dessinant sur le firmament une lumineuse trajectoire, n'est-ce pas songer aussitôt à ces espaces infinis partout remplis de matière, partout vivifiés par le mouvement? Qu'importe la petitesse extrême de ces météores dans un système où l'on trouve, à côté de l'énorme volume du Soleil, des atomes tels que Cérès, tels que le premier satellite de Saturne? Qu'importe leur subite disparition, quand un phénomène d'un autre ordre, l'extinction de ces étoiles qui brillèrent tout à coup dans Cassiopée, dans le Cygne et dans le Serpentaire, nous a déjà forcés à admettre qu'il peut exister, dans les espaces célestes, d'autres astres que ceux que nous y voyons toujours. Nous le savons maintenant, les étoiles filantes sont des agrégations de matière, de véritables astéroïdes qui circulent autour du Soleil, qui traversent, comme les comètes, les orbites des grandes planètes, et qui brillent près de notre atmosphère ou du moins dans ses dernières couches.

Isolés, sur notre planète, de toutes les parties de la création que ne comprennent pas les limites de notre atmosphère, nous ne sommes en communication avec les corps célestes que par l'intermédiaire des rayons si intimement unis de la lumière et de la chaleur (90), et par cette mystérieuse attraction que les masses éloignées exercent, en raison de leur masse, sur notre globe, sur nos mers et même sur les couches d'air qui nous environnent. Mais si les aérolithes et les étoiles filantes sont réellement des asté-

roïdes planétaires, le mode de communication change de nature, il devient plus direct, il se matérialise en quelque sorte. En effet, il ne s'agit plus ici de ces corps éloignés dont l'action sur la terre se borne à y faire naître les vibrations lumineuses et calorifiques, ou bien encore à produire des mouvements, suivant les lois d'une gravitation réciproque ; il s'agit de corps matériels qui, abandonnant les espaces célestes, traversent notre atmosphère et viennent heurter la terre dont elles font partie désormais. Tel est le seul événement cosmique qui puisse mettre notre planète en contact avec les autres parties de l'univers. Accoutumés que nous sommes à ne connaître les êtres placés hors de notre globe que par la voie des mesures, du calcul et du raisonnement, nous nous étonnons de pouvoir maintenant les toucher, les peser, les analyser. C'est ainsi que la science met en jeu dans notre âme les secrets ressorts de l'imagination et les forces vives de l'esprit, alors que le vulgaire ne voit, dans ces phénomènes, que des étincelles qui s'allument et s'éteignent, et dans ces pierres noirâtres, tombées avec fracas du sein des nues, que le produit grossier d'une convulsion de la nature.

Si ces essaims d'astéroïdes dont nous nous sommes occupé longtemps comme d'un sujet de prédilection, se rapprochent des comètes par la petitesse de leurs masses et par la multiplicité de leurs orbites, ils en diffèrent cependant, d'une manière essentielle, par ce seul fait qu'ils ne brillent et ne deviennent visibles pour nous qu'à l'instant où ils traversent la sphère

d'action de notre globe. Mais l'étude de ces météores ne complète pas encore le tableau de notre système planétaire, si complexe, si riche en formes variées, depuis la découverte des petites planètes, des comètes intérieures à courte période, et des astéroïdes météoriques; il nous reste à parler de l'anneau de matière cosmique auquel on attribue la lumière zodiacale, déjà citée plusieurs fois dans le cours de cet ouvrage. Quiconque aura passé des années entières dans la zone des palmiers, conservera toute sa vie un doux souvenir de cette pyramide de lumière qui éclaire une partie des nuits toujours égales des tropiques. Il m'est arrivé de la voir aussi brillante que la voie lactée dans le Sagittaire, non pas seulement sur les cimes des Andes, à ces hauteurs de 3000 ou de 4000 mètres, où l'air est si pur et si rare, mais aussi dans les immenses prairies (*Llanos*) de Venezuela, et au bord de la mer, sous le ciel toujours serein de Cumana. Quelquefois pourtant, un petit nuage se projette sur la lumière zodiacale, et tranche d'une manière pittoresque sur le fond lumineux du ciel ; alors le phénomène devient d'une grande beauté. Ce jeu de l'atmosphère se trouve signalé dans mon journal de voyage, lors de mon trajet de Lima à la côte occidentale du Mexique : « Depuis trois ou quatre nuits (par 10° et 11° de latitude septentrionale), j'aperçois la lumière zodiacale avec une magnificence toute nouvelle pour moi. L'éclat des étoiles et des nébuleuses peut faire croire que, dans cette partie de la mer du Sud, la transparence de l'atmosphère

est extraordinaire. Du 14 au 19 mars, très-régulièrement trois quarts d'heure après le coucher du soleil, il était impossible d'apercevoir la moindre trace de la lumière zodiacale, et pourtant l'obscurité était complète. Une heure après le coucher du soleil, elle paraissait tout à coup avec un grand éclat, entre Aldébaran et les Pléiades; le 18 mars, elle atteignit 39°5′ de hauteur. Çà et là, près de l'horizon, s'étendaient de petits nuages allongés qui se détachaient sur un fond jaune; plus haut, d'autres nuages diapraient l'azur du ciel de leurs couleurs changeantes; on aurait dit un second coucher du soleil. Alors, vers cette partie de la voûte céleste, la clarté de la nuit augmentait jusqu'à égaler presque celle du premier quartier de la lune. A dix heures, la lumière zodiacale était déjà très-affaiblie, et à minuit, j'en voyais à peine une trace dans cette partie de la mer du Sud. Le 16 mars, au moment où elle brillait de son éclat le plus vif, on apercevait à l'orient une faible réverbération. » Il en est autrement dans nos climats du Nord, dans ces régions brumeuses qu'on appelle tempérées : la lumière zodiacale n'y est visible, d'une manière distincte, que vers le commencement du printemps, après le crépuscule du soir, au-dessus de l'horizon occidental ; et vers la fin de l'automne, à l'orient, avant le crépuscule du matin.

On comprend à peine qu'un phénomène aussi remarquable n'ait point attiré l'attention des physiciens et des astronomes, avant le milieu du XVIIe siècle, et qu'il ait échappé aussi aux Arabes qui ont tant ob-

servé dans l'ancienne Bactriane, sur les rives de l'Euphrate et dans le midi de l'Espagne. Au reste, la tardive découverte des deux nébuleuses d'Andromède et d'Orion que Simon Marius et Huyghens décrivirent les premiers, n'est pas moins surprenante. C'est dans la *Britannia Baconica* de Childrey (91), en 1661, que l'on trouve la première description bien nette de la lumière zodiacale; la première observation peut remonter à deux ou trois années auparavant; mais à Dominique Cassini revient le mérite incontestable d'avoir, le premier, soumis le phénomène à un examen approfondi (dans le printemps de 1683). Quant à la lumière qu'il vit à Bologne en 1668, et que voyait aussi, à la même époque, le célèbre voyageur Chardin (les astrologues de la cour d'Ispahan ne l'avaient jamais remarquée auparavant; ils la nommaient *nyzek*, petite lance), ce n'était point la lumière zodiacale, comme on l'a si souvent supposé (92); c'était l'énorme queue d'une comète dont la tête était cachée sous l'horizon, et qui devait présenter une grande analogie d'aspect et de position avec la longue comète de 1843. Mais il est impossible de ne pas reconnaître la lumière zodiacale dans la brillante lueur que l'on vit en 1509, pendant quarante nuits consécutives, monter comme une pyramide au-dessus de l'horizon oriental du plateau mexicain : c'est dans un manuscrit des anciens Aztèques appartenant à la Bibliothèque royale de Paris (*Codex Telleriano-Remensis*), que j'ai découvert la mention de ce curieux phénomène (93).

Ainsi la lumière zodiacale a existé de tous temps,

quoique sa découverte ne remonte, en Europe, qu'à Childrey et à Dominique Cassini. On a voulu l'attribuer à une certaine atmosphère du Soleil ; mais cette explication est inadmissible; car, d'après les lois de la mécanique, l'aplatissement de cette atmosphère ne peut dépasser celui d'un sphéroïde dont les axes seraient dans le rapport de 2 à 3 ; par conséquent, ses couches extrêmes ne sauraient s'étendre au delà des $\frac{9}{20}$ du rayon de l'orbite de Mercure. Ces mêmes lois fixent aussi les limites équatoriales de l'atmosphère d'un corps céleste tournant sur lui-même, au point où la pesanteur fait équilibre à la force centrifuge ; là seulement, le temps de la révolution d'un satellite serait égal au temps de la rotation de l'astre central (94). Cette limitation si restreinte de l'atmosphère *actuelle* de notre Soleil devient surtout frappante lorsqu'on la compare à celle des étoiles nébuleuses. Herschel en a trouvé plusieurs dont le diamètre apparent atteint 150″; or, en admettant pour ces astres une parallaxe un peu inférieure à 1″, on trouve que la distance de l'étoile centrale aux dernières couches de la nébulosité équivaut à 150 rayons de l'orbite terrestre. Si donc une de ces étoiles nébuleuses occupaît la place de notre Soleil, non-seulement son atmosphère comprendrait l'orbite d'Uranus, mais elle s'étendrait encore huit fois plus loin (95).

Ainsi, l'atmosphère solaire est renfermée dans des limites beaucoup plus restreintes que celles où s'étend la lumière zodiacale. Ce phénomène s'explique mieux si l'on suppose qu'il existe, entre l'orbite de

Vénus et celle de Mars, un anneau très-aplati, formé de matières nébuleuses et tournant librement dans les espaces célestes (96). Peut-être cet anneau n'est-il pas sans rapport avec la matière cosmique que l'on croit plus condensée dans les régions voisines du Soleil ; peut-être s'augmente-t-il continuellement des nébulosités abandonnées dans l'espace par les queues des comètes (97) ; il est aussi difficile de prononcer à cet égard, que d'assigner les véritables dimensions de l'anneau, dimensions variables sans doute, puisqu'il semble parfois compris tout entier dans l'orbite de la Terre. Les particules des nébulosités dont cet anneau se compose peuvent être lumineuses par elles-mêmes, ou réfléchir seulement la lumière du Soleil. La première supposition ne paraît pas inadmissible : on pourrait citer, en effet, le remarquable brouillard de 1783, qui, en pleine nuit, à l'époque de la nouvelle lune, produisait une lumière phosphorique assez intense pour éclairer les objets et les rendre nettement visibles, même à une distance de 200 mètres (98).

Dans les régions tropicales de l'Amérique du Sud, les variations d'intensité de la lumière zodiacale ont souvent excité mon étonnement. Comme je passais alors pendant des mois entiers les nuits en plein air, sur les bords des fleuves ou dans les prairies (*Llanos*), j'eus de fréquentes occasions d'observer le phénomène avec soin. Lorsque la lumière zodiacale avait atteint son maximun d'intensité, il lui arrivait, quelques minutes après, de s'affaiblir notablement, puis

elle reprenait soudain son éclat primitif. Je n'ai jamais vu, comme le veut Mairan, de coloration rougeâtre, ni d'arc inférieur obscur, ni même de scintillation; mais j'ai remarqué plusieurs fois que la pyramide lumineuse était traversée par une rapide ondulation. Faut-il croire à des changements réels dans l'anneau nébuleux? Ou bien n'est-il pas plus probable qu'au moment même où, près du sol, mes instruments météorologiques n'accusaient aucune variation de température ou d'humidité dans les régions inférieures de l'atmosphère, il s'opérait cependant, à mon insu, dans les couches plus élevées, des condensations capables de modifier la transparence de l'air, ou plutôt son pouvoir réfléchissant? Des observations d'une nature toute différente justifieraient au besoin ce recours à des causes de nature météorologique agissant à la limite de l'atmosphère : Olbers, en effet, a signalé « les changements d'éclat, qui se propagent, en quelques secondes, comme des pulsations, d'un bout à l'autre de la queue d'une comète, et qui tantôt en augmentent, tantôt en diminuent l'étendue de plusieurs degrés. Or, les diverses parties d'une queue longue de quelques millions de lieues sont très-inégalement distantes de la terre; par conséquent, la propagation graduelle de la lumière ne nous permettrait pas d'apercevoir, en un si court intervalle de temps, les changements réels qui pourraient survenir dans un astre occupant une si vaste étendue (99). »

Disons-le, toutefois, ces remarques ne contredisent

nullement la réalité des variations que l'on a observées dans les queues des comètes ; elles n'ont pas davantage pour but de nier que les changements d'éclat si soudains de la lumière zodiacale ne puissent provenir, soit d'un mouvement moléculaire à l'intérieur de l'anneau nébuleux, soit d'une altération subite de son pouvoir réfléchissant; j'ai seulement voulu distinguer, dans ces phénomènes, la part qui revient à la substance cosmique elle-même, de celle qu'on doit restituer à notre atmosphère, intermédiaire obligé de toutes nos perceptions lumineuses. Quant à ce qui se passe à cette limite supérieure de l'atmosphère, limite si souvent controversée pour d'autres motifs, des faits bien observés montrent combien il est difficile d'en rendre un compte satisfaisant. Par exemple, les nuits de 1831, si merveilleusement claires en Italie et dans le nord de l'Allemagne qu'on pouvait lire à minuit les caractères les plus fins, sont en contradiction manifeste avec tout ce que les recherches les plus nouvelles et les plus savantes ont pu nous apprendre sur la théorie des crépuscules et sur la hauteur de l'atmosphère (100). Les phénomènes lumineux dépendent de conditions peu connues dont les variations imprévues nous surprennent, qu'il s'agisse de la hauteur des crépuscules, ou de la lumière zodiacale.

Jusqu'à présent nous avons considéré ce qui appartient à notre Soleil, le monde des formations qui subissent son action régulatrice, c'est-à-dire les planètes, les satellites, les comètes à courte et à longue

période, les astéroïdes météoriques isolés ou réunis en anneau continu, cet anneau nébuleux enfin, auquel sa position dans les espaces planétaires autorise à conserver le nom de lumière zodiacale. Partout règne *la loi de la périodicité* dans les mouvements, quelle que soit la vitesse ou la masse. Les seuls astéroïdes qui traversent notre atmosphère peuvent être arrêtés au milieu de leurs révolutions planétaires et retenus par une grosse planète. Dans cet immense système dont la force d'attraction du corps central détermine les limites, les comètes sont forcées, même à une distance égale à 44 rayons de l'orbite d'Uranus, à revenir au point de départ, à parcourir une orbite fermée ; et jusque dans ces comètes qui nous apparaissent sous l'aspect d'un nuage cosmique, tant la masse en est faible, le noyau retient encore, en vertu de son attraction, les dernières particules d'une queue longue de plusieurs millions de lieues. Ainsi les forces centrales sont à la fois celles qui constituent et celles qui maintiennent un système.

Le Soleil peut être considéré comme immobile par rapport aux astres grands ou petits, denses ou nébuleux qui accomplissent autour de lui leurs révolutions périodiques; en réalité, il tourne lui-même autour du centre de gravité de tout le système, et ce point est situé tantôt dans l'intérieur même du Soleil, tantôt en dehors, par suite des changements qui surviennent sans cesse dans les positions respectives des planètes. Mais le mouvement progressif qui transporte

dans l'espace le Soleil, ou plutôt le centre de gravité du système solaire, est d'une nature différente; la vitesse en est telle, que le déplacement relatif du Soleil et de la 61ᵉ du Cygne va, d'après Bessel, à 619000 myriamètres par jour (1). Nous ne saurions rien de ce mouvement de translation du système solaire, si l'admirable exactitude des instruments de mesure que possède actuellement l'astronomie, et les progrès de ses méthodes d'observation, n'étaient parvenus à rendre sensibles les petits déplacements dont les étoiles nous paraissent affectées, semblables en cela aux objets situés sur un rivage mobile en apparence. Le mouvement propre de la 61ᵉ du Cygne est pourtant assez considérable pour produire, en 700 ans, un déplacement de 1° entier.

Malgré les difficultés inhérentes à la déterminatiou des mouvements propres des étoiles (on nomme ainsi les changements qui surviennent dans leurs positions relatives), il est encore plus facile de les mesurer avec précision que d'en assigner la cause. Après avoir tenu compte de l'aberration produite par la propagation successive des rayons lumineux, et de la petite parallaxe qui provient du mouvement de la terre autour du Soleil, les déplacements observés contiennent encore les mouvements réels des étoiles, combinés avec les mouvements apparents qu'a dû faire naître la translation générale de tout le système solaire. Les astronomes sont parvenus à séparer ces deux éléments, grâce à l'exactitude avec laquelle on connaît maintenant la direction du mou-

vement propre de certaines étoiles, et par cette considération fort ingénieuse, empruntée aux lois de la perspective : si les étoiles étaient absolument immobiles, elles devraient encore paraître se mouvoir en s'écartant du point vers lequel le soleil dirige sa course. Il résulte, en dernière analyse, de ces travaux où le calcul des probabilités joue un rôle important, que les étoiles et le système solaire sont à la fois en mouvement dans l'espace. Par des recherches exécutées sur un plan plus vaste et plus parfait que celles de W. Herschel et de Prévost, Argelander a prouvé que le Soleil se dirige actuellement vers un point situé dans la constellation d'Hercule, à 257° 49',7 d'ascension droite, et à 28° 49',7 de déclinaison boréale (équin. de 1792,5); ce résultat important est fondé sur la combinaison des mouvements propres de 537 étoiles (2). On conçoit toutes les difficultés qu'ont dû présenter ces recherches délicates où il s'agissait de distinguer les mouvements réels des mouvements apparents, et de faire la part du système solaire.

Si l'on considère les mouvements propres des étoiles dégagés de tout effet de perspective, on en trouve un grand nombre dont les directions sont opposées par groupes : les données actuelles sont bien loin d'établir la nécessité d'admettre que toutes les parties de notre amas d'étoiles, que toutes celles des autres zones étoilées dont l'univers est rempli, doivent se mouvoir autour d'un grand corps inconnu, brillant ou obscur. Sans doute, une pareille hypothèse est de nature à plaire à l'imagination et à l'in-

cessante activité de l'esprit humain, toujours ardent à poursuivre les dernières causes. Le Stagirite n'a-t-il pas déjà dit : « Tout ce qui est mû suppose un moteur; » l'enchaînement des causes n'aurait point de fin, s'il » n'existait un *premier moteur immobile* (3). »

Mais l'étude de ces mouvements stellaires non parallactiques, indépendants du déplacement de l'observateur, a ouvert à l'activité humaine un champ de recherches où elle peut s'exercer librement, sans se lancer dans les conceptions vagues, dans le monde sans limites des analogies. Je veux parler des étoiles doubles, dont les mouvements lents ou rapides s'exécutent dans des orbites elliptiques, d'après les lois de la gravitation, donnant ainsi l'irrécusable preuve que ces lois ne sont pas spéciales à notre système solaire, mais qu'elles règnent jusque dans les régions les plus éloignées de la création. Cette belle et solide conquête de l'astronomie est encore due aux progrès récents des méthodes d'observation et de calcul. Le nombre de ces systèmes binaires ou multiples, dont les astres composants circulent autour d'un centre de gravité commun, peut, à juste titre, exciter l'étonnement (il dépassait 2800 en 1837); mais ce qui place surtout cette découverte au rang des plus brillantes conquêtes scientifiques de notre époque, c'est l'extension qu'elle a donnée à nos connaissances sur les forces essentielles de l'univers, c'est la preuve qui en résulte de l'universalité de la gravitation. Les temps employés par ces étoiles à accomplir une révolution entière varient depuis quarante-trois ans, comme

dans η de la Couronne, jusqu'à des milliers d'années, comme pour 66 de la Baleine, 38 des Gémeaux et 100 des Poissons. Depuis les mesures d'Herschel, en 1782, le satellite le plus voisin de l'étoile principale dans le système triple ζ de l'Écrevisse, a déjà accompli et même dépassé une révolution entière. En combinant convenablement les distances et les angles (4) qui déterminaient, à différentes époques, les positions relatives des composantes des étoiles doubles, on parvient à calculer les éléments de leurs orbites réelles; on arrive même à fixer provisoirement leurs distances à la Terre et le rapport de leurs masses à celle du Soleil. Mais ce qui conservera longtemps encore à ces résultats un caractère hypothétique, c'est que nous ignorons si la force d'attraction se règle invariablement, dans ces systèmes comme dans le nôtre, sur la quantité des molécules matérielles; Bessel a fait voir qu'elle pourrait y être spécifique et non pas proportionnelle aux masses (5). La solution définitive de ces problèmes semble donc réservée à un avenir encore bien éloigné.

Quand on compare le Soleil aux astres qui composent la couche lenticulaire d'étoiles dont nous faisons partie, c'est-à-dire à d'autres soleils qui brillent eux-mêmes de leur propre lumière, on reconnaît la possibilité de parvenir à déterminer, pour quelques-uns du moins, certaines limites extrêmes entre lesquelles leurs distances, leurs masses, leurs grandeurs et leurs vitesses de translation, doivent se trouver comprises.

Prenons pour unité de mesure le rayon de l'orbite d'Uranus qui contient dix-neuf rayons de l'orbite terrestre ; la distance de α du Centaure au centre de notre système planétaire contiendra 11900 de ces unités ; celle de la 61[e] du Cygne en contient près de 31300, et celle de α de la Lyre, 41600. La comparaison du volume des étoiles de première grandeur avec celui du Soleil dépend de leur diamètre apparent, élément optique dont la détermination présentera toujours une grande incertitude. Admettons, avec Herschel, que le diamètre apparent d'Acturus ne dépasse point un dixième de seconde ; il en résulterait encore, pour cette étoile, un diamètre réel onze fois plus grand que le diamètre du Soleil (6). Maintenant que la distance de la 61[e] du Cygne est connue, grâce aux travaux de Bessel, il est possible de déterminer approximativement la masse de cette étoile double. A la vérité, la portion de l'orbite apparente que le satellite a parcourue depuis les observations de Bradley, n'est pas suffisante pour donner, avec une grande précision, les éléments de l'orbite réelle et particulièrement le grand axe ; cependant le célèbre astronome de Kœnisberg (7) croit pouvoir affirmer que « la masse de cette étoile double ne diffère » pas beaucoup de la moitié de celle du Soleil. » C'est là un résultat de mesures effectives. Des analogies fondées sur la masse prédominante des planètes pourvues de satellites, et sur ce que Struve a trouvé, parmi les étoiles brillantes, six fois plus de systèmes binaires que parmi les étoiles télescopiques, ont porté

d'autres astronomes à attribuer, à la plupart des étoiles doubles, une masse moyenne supérieure à celle du Soleil (8). De longtemps encore on ne peut espérer d'obtenir à ce sujet des résultats généraux. Ajoutons qu'Argelander place le Soleil au rang des étoiles dont le mouvement propre est considérable.

Des causes nombreuses, incessantes, qui font varier les positions relatives des étoiles et des nébuleuses, l'éclat des diverses régions du ciel et l'apparence générale des constellations, peuvent, après des milliers d'années, imprimer un caractère nouveau à l'aspect grandiose et pittoresque de la voûte étoilée. Ces causes sont : les mouvements propres des étoiles, le mouvement de translation qui emporte dans l'espace notre système solaire tout entier, l'apparition subite de nouvelles étoiles, l'affaiblissement, l'extinction même de quelques étoiles anciennes, enfin et surtout, les changements qu'éprouve la direction de l'axe terrestre, par suite de l'action combinée du Soleil et de la Lune. Un jour viendra où les brillantes constellations du Centaure et de la Croix du sud seront visibles sous nos latitudes boréales, tandis que d'autres étoiles (Sirius et le Baudrier d'Orion) ne paraîtront plus sur l'horizon. Les étoiles de Céphée (β et α) et du Cygne (δ) serviront successivement à reconnaître dans le ciel la position du pôle nord; et dans douze mille ans, l'étoile polaire sera Véga de la Lyre, la plus magnifique de toutes les étoiles auxquelles ce rôle puisse échoir. Ces aperçus rendent sensible, en quelque sorte, la grandeur de ces mouvements qui procèdent avec len-

teur, mais sans jamais s'interrompre, et dont les vastes périodes forment comme une horloge éternelle de l'univers. Supposons, un instant, qu'un rêve de l'imagination se réalise, que notre vue, dépassant les limites de la vison télescopique, acquière une puissance surnaturelle; que nos sensations de durée se contractent de manière à comprendre les plus grands intervalles de temps, de même que nos yeux perçoivent les plus petites parties de l'étendue; aussitôt disparaît l'immobilité apparente qui règne dans les cieux. Les étoiles sans nombre sont emportées, comme des tourbillons de poussière, dans des directions opposées, les nébuleuses errantes se condensent ou se dissolvent, la voie lactée se divise par places comme une immense ceinture qui se déchirerait en lambeaux; partout le mouvement règne dans les espaces célestes, de même qu'il règne sur la terre, en chaque point de ce riche tapis de végétaux, dont les rejetons, les feuilles et les fleurs, présentent le spectacle d'un perpétuel développement. Le célèbre naturaliste espagnol Cavanilles eut, le premier, l'idée de voir «l'herbe pousser,» et il dirigeait une forte lunette, munie d'un fil micrométrique horizontal, tantôt sur la tige d'un aloès américain (*Agave americana*), dont la croissance est si rapide, tantôt sur la cime d'un bourgeon de bambou, précisément comme font les astronomes, lorsqu'ils placent la croisée des fils de leurs télescopes sur une étoile culminante. Dans la nature physique, pour les astres comme pour les êtres organisés, le mouvement paraît être une con-

dition essentielle de la production, de la conservation et du développement.

La rupture de la voie lactée, à laquelle je viens de faire allusion, mérite une mention spéciale. En *jaugeant* le ciel à l'aide de ses puissants télescopes, William Herschel, qu'il faut toujours prendre pour guide dans cette partie de l'histoire des cieux, a trouvé que la largeur réelle de la voie lactée surpasse de 6 à 7 degrés sa largeur apparente, visible à l'œil nu, et figurée sur les cartes célestes (9). Les deux nœuds brillants où se réunissent ses deux branches, et dont l'un est situé vers Céphée et Cassiopée, l'autre vers le Scorpion et le Sagittaire, paraissent exercer sur les étoiles voisines une attraction puissante. Entre β et γ du Cygne, on voit une région éclatante de lumière et large d'environ 5°. Cet amas d'étoiles en contient au moins 330000, dont une moitié paraît attirée dans un sens, tandis que l'autre moitié paraît l'être dans le sens opposé. Herschel soupçonne, dans cette partie de la couche stellaire, une tendance à la rupture (10). On porte, par estime, à 18 millions le nombre des étoiles que le télescope permet de distinguer dans la voie lactée. Pour se faire une idée de la grandeur de ce nombre, ou plutôt pour s'aider d'un terme de comparaison, il suffit de se rappeler que nous ne voyons pas, à l'œil nu, sur toute la surface du ciel, plus de 8000 étoiles; tel est, en effet, le nombre des étoiles comprises entre la première et la sixième grandeur. Au reste, les deux extrêmes de l'étendue, les corps célestes et les animalcules microscopiques,

concourent l'un et l'autre à produire cette impression d'étonnement que les grands nombres excitent en nous, sentiment stérile, quand on les présente isolés, sans rapports avec le plan général de la nature ou avec l'intelligence humaine : un pouce cubique de tripoli de Bilin contient, d'après Ehrenberg, 40000 millions de carapaces siliceuses de Galionelles.

Comme l'a fait remarquer Argelander, les étoiles brillantes sont plus nombreuses dans la région de la voie lactée que dans les autres parties du ciel. Mais outre cette voie lactée composée d'étoiles, il existe encore une autre voie lactée composée de nébuleuses, qui rencontre la première à peu près à angles droits. D'après les vues de sir John Herschel, la première formerait un anneau analogue à celui de Saturne, une sorte de ceinture isolée de toutes parts et située à quelque distance de notre amas lenticulaire d'étoiles. Notre système planétaire est situé dans l'intérieur de cet anneau, mais excentriquement, plus près de la région où se trouve la Croix du Sud que de la région opposée, celle de Cassiopée (11). Une nébuleuse que Messier découvrit en 1774, mais qui n'avait été vue qu'imparfaitement, paraît reproduire avec une exactitude étonnante tous les traits de l'ensemble que nous venons d'esquisser : on y retrouve l'amas intérieur et l'anneau formé par les diverses parties de la voie lactée (12). Quant à la voie lactée composée de nébuleuses, elle n'appartiendrait pas à notre zone stellaire ; elle l'entourerait seulement, à une énorme distance, sous la forme

d'un grand cercle presque parfait, et elle traverserait les nébuleuses de la Vierge (si nombreuses vers l'aile septentrionale), la chevelure de Bérénice, la Grande Ourse, la ceinture d'Andromède et le Poisson boréal. C'est probablement vers Cassiopée qu'elle croiserait la voie lactée des étoiles, dont elle réunirait ainsi les pôles situés dans la direction où notre couche stellaire a le moins d'épaisseur, pôles dévastés sans doute par les forces qui ont condensé les étoiles en groupes (13).

D'après ces aperçus, il faudrait se représenter dans l'espace, d'abord notre amas d'étoiles où l'on trouve les indices d'un changement progressif de formes, et même d'une dislocation que détermine sans doute l'attraction de centres secondaires; puis deux anneaux, dont l'un, placé à une grande distance, se compose exclusivement de nébuleuses, tandis que l'autre, plus rapproché de nous (c'est la voie lactée), est entièrement formé d'étoiles dépourvues de nébulosités. En moyenne, ces étoiles paraissent être de dixième ou de onzième grandeur (14), mais, prises séparément, elles diffèrent beaucoup entre elles; au contraire, celles dont se composent les amas isolés offrent presque toujours une parfaite uniformité de grandeur et d'éclat.

Presque partout où la voûte céleste a été étudiée à l'aide de télescopes assez puissants pour pénétrer profondément dans l'espace, on a vu des étoiles, ne fût-ce que des étoiles de vingtième et de vingt-quatrième grandeur, ou bien des nébuleuses dans lesquelles des

instruments plus puissants nous feraient sans doute distinguer des étoiles encore plus petites. En effet, les rayons lumineux que la rétine reçoit, dans ces divers genres d'observation, proviennent, soit de points isolés, soit de points extrêmement rapprochés, et, dans ce dernier cas, la visibilité est plus grande que dans le premier, ainsi qu'Arago l'a montré récemment (15). La nébulosité cosmique universellement répandue dans l'espace, en modifie vraisemblablement la transparence ; elle diminuerait donc l'intensité de cette lumière homogène qui devrait exister sur toute la voûte céleste, suivant Halley et Olbers, si chacun de ses points était la base d'une série infinie d'étoiles disposées dans le sens de la profondeur (16). Mais ces idées sont en désaccord avec ce que l'observation nous enseigne. Celle-ci nous montre des régions entières dépourvues d'étoiles, des ouvertures dans le ciel, comme le disait Herschel ; il en existe une dans le Scorpion, large de 4 degrés ; et une autre dans le Serpentaire. Près de ces deux ouvertures et vers leurs bords, se trouvent des nébuleuses résolubles. Celle qu'on remarque au bord occidental de l'ouverture du Scorpion est un des plus riches amas de petites étoiles qu'on puisse rencontrer dans le ciel. C'est par l'attraction de ces groupes qu'Herschel explique l'absence des étoiles dans les régions vides (17) : « il existe, disait-il, dans notre amas stellaire, des régions que le temps a dévastées. » Si l'on veut se représenter les étoiles télescopiques, échelonnées dans l'espace, comme formant un tapis qui

couvre toute la voûte apparente du ciel, alors les régions vides du Scorpion et du Serpentaire seront autant de trous par lesquels notre œil pénètre jusque dans les profondeurs les plus reculées de l'univers. Là où les couches du tapis sont interrompues, il y a peut-être d'autres étoiles, mais nos instruments ne peuvent les atteindre. L'apparition des météores ignés avait aussi conduit les anciens à supposer qu'il existe des fissures ou des brèches (*chasmata*) dans la voûte céleste; mais ils les considéraient seulement comme passagères; puis ils croyaient que ces fissures devaient être brillantes et non obscures, à cause de l'éther lumineux qu'on devait, suivant eux, apercevoir par ces ouvertures accidentelles (18). Derham et Huyghens lui-même ne paraissent pas avoir été fort éloignés d'expliquer de cette manière la tranquille lumière des nébuleuses (19).

Lorsqu'on compare les étoiles de première grandeur aux étoiles télescopiques qui sont certainement en moyenne beaucoup plus éloignées de nous, quand on compare les groupes nébuleux avec les nébulosités irréductibles comme celle d'Andromède, ou bien avec les nébuleuses planétaires, nos conceptions sur ces mondes situés à des distances si différentes et comme perdus dans l'immensité, sont dominées par un fait qui modifie, suivant certaines lois, tous les phénomènes et toutes les apparences célestes : c'est le fait de la propagation successive des rayons lumineux. Les dernières recherches de Struve ont fixé à 30808 myriamètres par seconde la vitesse de la lumière; elle

est ainsi un million de fois environ plus grande que la vitesse du son. D'après ce que les travaux de Maclear, de Bessel et de Struve nous ont appris sur les parallaxes et les distances absolues de trois étoiles fort inégales en éclat, α du Centaure, 61 du Cygne et α de la Lyre, un rayon lumineux emploierait respectivement trois ans, neuf ans $\frac{1}{4}$, et douze ans, pour venir de ces astres jusqu'à nous. Or, dans la courte, mais mémorable période de 1572 à 1604, c'est-à-dire depuis Cornelius Gemma et Tycho, jusqu'à Kepler, trois étoiles nouvelles apparurent successivement dans Cassiopée, dans le Cygne et dans le pied du Serpentaire. Le même phénomène se reproduisit, en 1670, dans la constellation du Renard, mais avec des intermittences. Dans ces derniers temps, sir John Herschel a reconnu, pendant son séjour au cap de Bonne-Espérance, que l'éclat de l'étoile η du Navire avait augmenté graduellement depuis la deuxième jusqu'à la première grandeur (20). Tous ces faits appartiennent en réalité à des époques antérieures à celles où les phénomènes de lumière vinrent les annoncer aux habitants de la terre ; ce sont comme des voix du passé qui arrivent jusqu'à nous. On a dit avec vérité que, grâce à nos puissants télescopes, il nous est donné de pénétrer à la fois dans l'espace et dans le temps. Nous mesurons en effet l'un par l'autre ; une heure de chemin, c'est pour la lumière 110 millions de myriamètres à parcourir. Tandis que, dans la Théogonie d'Hésiode, les dimensions de l'univers sont exprimées à l'aide de la chute des corps (« pendant

neuf jours et neuf nuits seulement, l'enclume d'airain tomba du ciel sur la terre »), Herschel estimait que la lumière émise par les dernières nébuleuses encore visibles dans son télescope de 40 pieds, devait employer près de deux millions d'années pour venir jusqu'à nous (21)! Ainsi, bien des phénomènes ont disparu longtemps avant d'être perçus par nos yeux, bien des changements que nous ne voyons pas encore se sont depuis longtemps effectués. Les phénomènes célestes ne sont simultanés qu'en apparence; et quand on voudrait placer plus près de nous les faibles taches de nébuleuses ou les amas d'étoiles, quand même on réduirait les milliers d'années qui mesurent leurs distances, la lumière qu'ils ont émise et qui nous parvient aujourd'hui n'en resterait pas moins, en vertu des lois de sa propagation, le témoignage le plus ancien de l'existence de la matière. C'est ainsi que la science conduit l'esprit humain des plus simples prémisses aux plus hautes conceptions, et lui ouvre ces champs sillonnés par la lumière où « germent des myriades de mondes comme l'herbe » d'une nuit (22). »

Abandonnons maintenant les hautes régions que nous venons de parcourir, pour redescendre sur notre étroit domaine; après la nature céleste, abordons la nature terrestre. Un lien mystérieux les unit toutes deux; c'était le sens caché dans le vieux mythe des Titans (23), que l'ordre dans le monde dépend de l'union du ciel avec la terre. Si, par son origine, la Terre appartient au Soleil, ou du moins à son atmo-

sphère jadis subdivisée en anneaux, actuellement encore la Terre est en rapport avec l'astre central de notre système et avec tous les soleils qui brillent au firmament, par les émissions de chaleur et de lumière. La disproportion de ces influences ne doit pas empêcher le physicien d'en reconnaître la similitude et la connexité. Une faible partie de la chaleur terrestre provient de l'espace où se meut notre planète, et cette température de l'espace, résultante des radiations calorifiques de tous les astres de l'univers, est presque égale, d'après Fourier, à la température moyenne de nos régions polaires. Sans doute l'action prépondérante appartient au Soleil : ses rayons pénètrent l'atmosphère, éclairent et réchauffent sa surface, ils produisent les courants électriques et magnétiques, ils font naître et ils développent le germe de la vie dans les êtres organisés ; cette influence bienfaisante sera plus tard l'objet de notre étude.

Comme désormais nous nous renfermons dans la sphère de la nature terrestre, nous aurons d'abord à considérer la répartition des éléments solides et liquides, la figure de la Terre, sa densité moyenne et les variations de cette densité jusqu'à une certaine profondeur ; enfin, la chaleur et la tension électro-magnétique du globe. Nous serons ainsi conduits à étudier la réaction que l'intérieur exerce contre la surface ; l'intervention d'une force universellement répandue, la chaleur souterraine, nous expliquera le phénomène des tremblements de terre, dont l'effet se fait ressentir dans des cercles de commotion plus ou

moins étendus, le jaillissement des sources thermales, et les puissants efforts des agents volcaniques. Les secousses intérieures, tantôt brusques et répétées, tantôt continues et par suite peu sensibles, modifient peu à peu, dans le cours des siècles, les hauteurs relatives des parties solides et liquides de l'écorce terrestre, et changent la configuration du fond de la mer. En même temps, il se forme des ouvertures temporaires ou permanentes qui font communiquer l'intérieur de la terre avec l'atmosphère : alors, d'une profondeur inconnue, surgissent des masses en fusion; elles s'épanchent en étroits courants sur les flancs des montagnes, tantôt avec l'impétuosité d'un torrent, tantôt d'un mouvement lent et progressif, jusqu'à ce que la source ignée se tarisse et que la lave fumante se solidifie sous la croûte dont elle s'est recouverte. Alors des roches nouvelles se produisent sous nos yeux, tandis que les forces plutoniques modifient les roches anciennes par voie de contact immédiat avec les formations récentes, plus souvent encore par l'influence d'une source voisine de chaleur; même là où la pénétration n'a pas eu lieu, les particules cristallines sont déplacées et s'unissent en un tissu plus dense. Les eaux nous offrent des formations d'une tout autre nature : telles sont les concrétions de débris d'animaux ou de végétaux, les sédiments terreux, argileux ou calcaires, les conglomérats composés des détritus des roches, recouverts par des couches formées des carapaces siliceuses des infusoires et par les terrains de transport, où gisent

les espèces animales de l'ancien monde. L'étude de ces formations, qui accusent tant d'origines diverses, de ces couches disloquées, relevées, infléchies en tous sens par des pressions contraires ou par les efforts des agents volcaniques, a conduit l'observateur à comparer l'époque actuelle aux époques antérieures, à combiner les faits suivant les plus simples règles de l'analogie, à généraliser les rapports d'étendue et ceux des forces qu'il voit encore à l'œuvre; elle a tiré ainsi du vague et de l'obscurité cette belle science de la géognosie qu'on soupçonnait à peine il y a cinquante ans.

On a dit que les grands télescopes nous avaient appris à connaître l'intérieur des autres planètes plutôt que leur surface. La remarque est juste, si on en excepte la Lune. Grâce aux admirables progrès des observations et des calculs astronomiques, on pèse les planètes, on mesure leurs volumes, on détermine leurs masses, leurs densités, avec une précision toujours croissante; mais leurs propriétés physiques restent inconnues. Sur la terre seule, le contact immédiat nous met en rapport avec les éléments dont se compose la nature organique et la nature inorganique. Cette immense série d'éléments combinés, transformés de mille manières par le jeu des forces sans cesse en présence, offre à notre activité l'aliment qui lui convient; elle pose un but à nos recherches, elle ouvre un vaste champ à nos investigations, et l'esprit humain, fortifié dans cette lutte continuelle, s'élève et s'agrandit avec ses conquêtes. Ainsi le

monde des faits se réfléchit dans le monde des idées ; et chaque grande classe de phénomènes devient à son tour l'objet d'une nouvelle science.

Dans la science de la terre, l'homme retrouve cette supériorité d'action dont j'ai déjà parlé plusieurs fois, et qui résulte de sa position même sur la surface du globe. Nous avons vu comment la physique du ciel, depuis les lointaines nébuleuses jusqu'au corps central de notre système, est limitée aux notions générales de volume et de masse. Là, nos sens ne peuvent percevoir aucune trace de vie, et si l'on a pu hasarder quelques conjectures sur la nature des éléments qui constituent tel ou tel corps céleste, il a fallu les déduire de simples ressemblances, souvent même l'imagination seule a prononcé. Mais les propriétés de la matière, ses affinités chimiques, les modes d'agrégation régulière qui en réunissent les particules tantôt en cristaux, tantôt en une texture grenue ; ses rapports avec la lumière qui la traverse en se déviant ou en se divisant, avec la chaleur rayonnante, transmise à l'état neutre ou polarisée, avec les forces électro-magnétiques si énergiques alors même que leur action ne se manifeste point sous de brillantes apparences ; en un mot, ce trésor de connaissances qui donnent à nos sciences physiques tant de grandeur et de puissance, nous le devons uniquement à la surface de la planète que nous habitons, et plus encore à sa partie solide qu'à sa partie liquide. Mais il serait superflu de nous arrêter plus longtemps sur ce sujet : la supériorité

intellectuelle de l'homme dans certaines parties de la science de l'univers, dépend d'un enchaînement de causes semblables à celles qui donnent à certains peuples une supériorité matérielle sur une partie des éléments.

Après avoir signalé la différence essentielle qui existe, à cet égard, entre la science de la terre et la science des corps célestes, il est indispensable de reconnaître aussi jusqu'où peuvent s'étendre nos recherches sur les propriétés de la matière. Le champ en est circonscrit par la surface terrestre, ou plutôt par la profondeur où les excavations naturelles et les travaux des hommes nous permettent d'atteindre dans les couches voisines de la surface. Or, dans le sens vertical, ces travaux ne pénètrent guère qu'à deux mille pieds (650 mètres) au-dessous du niveau de la mer, c'est-à-dire à $\frac{1}{9800}$ du rayon de la Terre (24). Les masses cristallines lancées par des volcans encore en activité, et semblables pour la plupart aux roches de la surface, proviennent de profondeurs indéterminées, mais au moins 60 fois plus grandes que celles où les travaux de l'homme ont pu atteindre. Là où un lit de charbon de terre plonge et se recourbe pour remonter plus loin à une distance bien connue, il est possible d'évaluer en nombre la profondeur de la couche ; et l'on a montré que ces dépôts de charbon, mêlés des débris organiques de l'ancien monde, s'enfoncent à 2000 mètres au-dessous du niveau de la mer (en Belgique, par exemple). Les calcaires et les couches devoniennes, recourbées en forme de vallées,

atteignent une profondeur double (25). Si l'on compare ces dépressions souterraines avec les cimes des montagnes que l'on a regardées, jusqu'à présent, comme les parties les plus hautes de l'écorce soulevée de notre globe, on trouve une distance de 37000 pieds (1 myriamètre et $\frac{2}{10}$), ce qui revient à $\frac{1}{524}$ du rayon terrestre. Tel est, dans le sens vertical, le seul espace où pourraient s'exercer les recherches de la géognosie, même quand la surface de la terre entière s'étendrait jusqu'aux sommets du Dhawalagiri ou du Sorata. Tout ce qui est situé plus profondément que les dépressions dont j'ai parlé, que les travaux des hommes, que le fond de la mer où la sonde a pu parvenir (James Ross a filé 25400 pieds de sonde sans l'atteindre), nous est aussi inconnu que l'intérieur des autres planètes de notre système solaire. De même, nous connaissons seulement la masse de la terre entière et sa densité moyenne comparée à celles des couches superficielles, les seules qui soient accessibles pour nous. En l'absence de toute donnée positive sur les propriétés chimiques ou physiques de l'intérieur du globe, nous sommes de nouveau forcés de nous en tenir aux conjectures, tout comme s'il s'agissait des autres planètes qui tournent avec la Terre autour du Soleil. Ainsi, nous ne possédons aucune donnée certaine sur la profondeur à laquelle les roches sont à l'état de ramollissement ou de fusion complète, sur les cavités que remplissent les vapeurs élastiques, sur l'état des gaz intérieurs soumis à une pression énorme et à une

haute température, enfin sur la loi que suivent les densités croissantes des couches comprises entre le centre et la surface de la terre.

La température croissant avec la profondeur et la réaction de l'intérieur du globe contre la surface, nous conduiront à la longue série des phénomènes volcaniques; tels sont les tremblements de terre, les émissions gazeuses, les sources thermales, les volcans de boue et les courants de lave qui s'épanchent des cratères d'éruption. Enfin, la puissance des forces élastiques s'exerce aussi en altérant le niveau de la surface. De grandes plages, des continents entiers sont soulevés ou déprimés; les parties solides se séparent des parties fluides; l'Océan, traversé par des courants chauds ou froids, comme par des fleuves isolés dans sa masse liquide, couvre les pôles de glace, et baigne de ses eaux les roches tantôt denses et résistantes, tantôt désagrégées et réunies en bancs mobiles. Les limites qui séparent les eaux des continents ou des terres subissent de fréquents changements. Les plaines ont oscillé de bas en haut et de haut en bas. Après le soulèvement des continents, il s'est produit de grandes fissures presque toutes parallèles; ce fut probablement vers les mêmes époques que les chaînes de montagnes surgirent. Des lacs salés et de grands amas d'eaux intérieures, longtemps habités par les mêmes espèces animales, furent violemment séparés, et les restes fossiles de coquillages et de zoophytes qu'on retrouve partout identiques, témoignent assez de ces révolutions. Ainsi, en sui-

vant les phénomènes dans leur mutuelle dépendance, on découvre que les forces puissantes dont l'action s'exerce dans les entrailles du globe, sont aussi celles qui ébranlent l'écorce terrestre, et qui ouvrent des issues aux torrents de lave chassés par l'énorme pression des vapeurs élastiques.

Or, ces forces qui jadis soulevèrent, jusqu'à la région des neiges perpétuelles, les cimes des Andes et de l'Himalaya, ont produit aussi dans les roches des combinaisons et des agrégations nouvelles; elles ont transformé les couches qui s'étaient antérieurement déposées du sein des eaux, où déjà pullulait sous mille formes la vie organique. Nous reconnaissons ici toute la série des formations superposées par ordre d'ancienneté; nous retrouvons, dans ces couches, toutes les variations de forme qu'a subies la surface, les effets dynamiques des forces de soulèvement, et jusqu'aux actions chimiques des vapeurs émises par les fissures.

Les parties solides et desséchées de la surface terrestre où la végétation a pu se développer dans toute sa luxuriante vigueur, c'est-à-dire les continents, sont en rapport continuel d'action et de réaction avec les mers environnantes où règne presque exclusivement l'organisation animale. L'élément liquide est à son tour recouvert par les couches atmosphériques, océan aérien dont les chaînes de montagnes et les plateaux sont les bas-fonds. Là se produisent aussi des courants et des variations de température; l'humidité rassemblée dans les régions nuageuses de l'air, se

condense autour des sommets élevés, coule sur les flancs des montagnes, et de là va répandre partout dans les plaines le mouvement et la fécondité.

Mais si la distribution des mers et des continents, la forme générale de la surface, et la direction des lignes isothermes (zones où les températures moyennes de l'année sont égales), règlent et dominent la géographie des plantes, il n'en est plus de même quand il s'agit de la race humaine, le dernier, le plus noble but d'une description physique du monde. Les progrès de la civilisation, le développement des facultés, et cette culture générale de l'intelligence qui fonde, dans une nation, la suprématie politique, concourent avec les accidents locaux, mais d'une manière bien autrement efficace, à déterminer les caractères différentiels des races, et leur distribution numérique sur la surface du globe. Certaines races, fortement attachées au sol qu'elles occupent, peuvent être refoulées, anéanties même par d'autres races voisines plus développées; à peine s'il en reste un souvenir que l'histoire puisse recueillir. D'autres races, inférieures par le nombre seulement, traversent alors les mers. C'est presque toujours ainsi que les peuples devenus navigateurs ont acquis leurs connaissances géographiques, quoique la surface entière du globe, celle du moins des pays maritimes, n'ait été connue d'un pôle à l'autre que beaucoup plus tard.

Avant d'aborder dans ses détails le vaste tableau de la nature terrestre, j'ai voulu indiquer ici, d'une manière générale, comment il est possible de réunir,

dans une seule et même œuvre, la description de la surface de notre globe; les manifestations des forces sans cesse en action dans son sein, l'électro-magnétisme et la chaleur souterraine; les rapports d'étendue et de configuration dans le sens horizontal et en hauteur; les formations typiques de la géognosie; les grands phénomènes de la mer et de l'atmosphère; la distribution géographique des plantes et des animaux; enfin la gradation physique des races humaines, les seules qui soient aptes à recevoir, partout et toujours, la culture intellectuelle. Cette unité d'exposition suppose que les phénomènes ont été envisagés dans leur dépendance mutuelle et dans l'ordre naturel de leur enchaînement. Une simple juxtaposition des faits ne remplirait point le but que je me suis proposé; elle ne pourrait satisfaire le besoin d'une exposition cosmique qu'a fait naître en mon âme l'aspect de la nature dans mes voyages de terre et de mer et sous les zones les plus diverses : désir qui s'est formulé plus énergiquement à mesure que l'étude attentive de la nature développait en moi le sentiment de son unité. Sans doute cette tentative sera imparfaite sous plus d'un rapport; mais les progrès rapides dont toutes les branches des sciences physiques offrent aujourd'hui le beau spectacle, permettent d'espérer qu'il sera bientôt possible de corriger et de compléter les parties défectueuses de mon œuvre. Il est dans l'ordre même des progrès scientifiques, que les faits restés longtemps sans lien avec l'ensemble, viennent successivement s'y rattacher et se sou-

mettre aux lois générales. Je n'indique ici que la voie de l'observation et de l'expérience ; c'est celle où je suis entré, comme l'ont fait bien d'autres avec moi, en attendant qu'un jour vienne où, comme Socrate le demandait (26), « l'on interprète la nature à l'aide de la seule raison. »

Puisqu'il s'agit maintenant de peindre la nature terrestre sous ses principaux aspects, il faut commencer par la figure et par les dimensions de la planète elle-même. C'est qu'en effet, la figure géométrique de la terre décèle son origine et retrace son histoire aussi bien que l'étude de ses roches et de ses minéraux. Son ellipticité accuse la fluidité primitive, ou du moins le ramollissement de sa masse. Pour tous ceux qui savent lire dans le livre de la nature, l'aplatissement de la terre est une des données les plus anciennes de la géognosie ; de même, la forme elliptique du sphéroïde lunaire et la direction constante de son grand axe vers notre planète, sont des faits qui remontent à l'origine de notre satellite : « La figure mathématique de la terre est celle que prendrait sa surface, si elle était couverte d'un liquide en repos ; » c'est à cette surface idéale, qui ne reproduit ni les inégalités, ni les accidents de la partie solide de la surface réelle (27), que se rapportent toutes les mesures géodésiques, quand elles ont été réduites au niveau de la mer ; elle est complétement déterminée lorsque l'on connaît la valeur de l'aplatissement et la longueur du diamètre équatorial. Mais l'étude complète de la surface exigerait une double me-

sure exécutée dans deux directions rectangulaires.

Déjà onze mesures de degrés (déterminations de la courbure de la terre en différents points de sa surface), dont neuf appartiennent à notre siècle, nous ont appris à connaître la figure de notre globe que déjà Pline appelait « un point dans l'univers (28). » Ces mesures ne s'accordent point à donner, pour différents méridiens, la même courbure sous la même latitude; cette contradiction même est un argument en faveur de l'exactitude des instruments employés, et de la fidélité des résultats partiels. La décroissance de la pesanteur, quand on marche de l'équateur au pôle, dépend de la loi que suivent les variations de la densité dans l'intérieur du globe; il en sera de même de toute conclusion qu'on en voudra déduire sur la figure de la Terre. Aussi, lorsque Newton, inspiré par des considérations théoriques, et sans doute aussi par la découverte de l'aplatissement de Jupiter que Cassini avait faite avant 1666 (29); quand Newton, dis-je, annonça, dans ses immortels *Philosophiæ Naturalis Principia*, l'aplatissement de la Terre, il en fixa la valeur à $\frac{1}{230}$, dans l'hypothèse d'une masse *homogène;* tandis que les mesures effectives, soumises aux puissantes méthodes d'une analyse récemment perfectionnée, ont prouvé que l'aplatissement du sphéroïde terrestre, où la densité des couches est considérée comme croissant vers le centre, est à très-peu près $\frac{1}{300}$.

Trois méthodes ont été employées pour déterminer la courbure de la Terre : ce sont les mesures de degrés, les observations du pendule, et certaines iné-

galités lunaires; toutes les trois ont conduit au même résultat. La première méthode est à la fois géométrique et astronomique; dans les deux autres, on passe des mouvements observés avec exactitude aux forces qui les ont produits, puis de ces forces mêmes à leur cause commune qui est liée à l'aplatissement de la Terre. Si, dans ce tableau général de la nature, où il ne peut être question des méthodes, j'ai fait exception pour celles que je viens de citer, c'est qu'elles sont éminemment propres à faire ressortir l'étroite solidarité qui relie la forme et les forces aux phénomènes généraux. D'ailleurs ces méthodes ont joué dans la science un rôle capital: elles ont fourni l'occasion de soumettre à une épreuve délicate les instruments de mesure de toute espèce, de perfectionner en astronomie la théorie des mouvements de la lune, et en mécanique celle du pendule oscillant dans un milieu résistant; on peut dire enfin qu'elles ont sollicité l'analyse à s'ouvrir de nouvelles voies. Après la recherche de la parallaxe des étoiles qui a conduit à la découverte de l'aberration et de la nutation, on ne trouve, dans l'histoire des sciences qu'un seul problème, celui de la figure de la Terre, dont la solution puisse rivaliser d'importance avec les progrès généraux qui résultent indirectement des efforts tentés pour atteindre le but. Onze mesures de degrés, dont trois furent exécutées hors d'Europe, une au Pérou (l'ancienne mesure française), et deux aux Indes orientales, ont été comparées et calculées par Bessel, d'après les méthodes les plus rigoureuses: il

en est résulté un aplatissement de $\frac{1}{299}$ (30). Ainsi, dans cet ellipsoïde de révolution, le demi-diamètre polaire est plus court de 10938 toises (21 kilomètres environ ou 5 lieues de poste) que le demi-diamètre équatorial ; le renflement équatorial a donc à peu près cinq fois la hauteur du Mont-Blanc, et deux fois et demie seulement la hauteur probable du Dhawalagiri, la plus haute montagne de la chaîne de l'Himalaya. Les inégalités lunaires (perturbations du mouvement de la Lune en longitude et en latitude) ont donné, à Laplace, un aplatissement de $\frac{1}{299}$, c'est-à-dire le même résultat que les mesures de degrés. Mais les observations du pendule (31) ont conduit en moyenne à un aplatissement beaucoup plus fort ($\frac{1}{288}$).

On raconte que, pendant le service divin, Galilée, encore enfant et sans doute un peu distrait, reconnut qu'on pourrait mesurer la hauteur du dôme de l'église par la durée des oscillations des lampes suspendues à la voûte, à des hauteurs inégales. Qu'il était loin de prévoir que son pendule dût être un jour transporté d'un pôle à l'autre, pour déterminer la figure de la Terre, ou plutôt pour constater que l'inégale densité des couches terrestres influe sur la longueur du pendule à secondes ! On ne peut trop admirer ces propriétés géognostiques d'un instrument destiné d'abord à mesurer le temps, et qui peut servir à sonder, en quelque sorte, les profondeurs ; à indiquer, par exemple, s'il existe dans certaines îles volcaniques (32), et sur les versants des chaînes de montagnes (33), des cavités souterraines ou des masses pe-

santes de basalte et de mélaphyre. Malheureusement ces belles propriétés deviennent autant d'inconvénients graves, quand il s'agit d'appliquer la méthode des oscillations du pendule à l'étude de la forme générale de la Terre. Les chaînes de montagnes et la densité variable des couches réagissent aussi, mais d'une manière moins nuisible, sur la partie astronomique d'une mesure de degré.

Quand la figure de la Terre est connue, on peut en déduire l'influence qu'elle exerce sur les mouvements de la Lune; réciproquement, de la connaissance parfaite de ces mouvements on peut remonter à la forme de notre planète. C'est ce qui a fait dire à Laplace (34) : « Il est très-remarquable qu'un astronome, sans sortir de son observatoire, en comparant seulement ses observations à l'analyse, eût pu déterminer exactement la grandeur et l'aplatissement de la Terre, et sa distance au Soleil et à la Lune, éléments dont la connaissance a été le fruit de longs et pénibles voyages dans les deux hémisphères. » L'aplatissement qu'on déduit ainsi des inégalités lunaires, a, sur les mesures de degré isolées et sur les observations du pendule, l'avantage d'être indépendant des accidents locaux; c'est l'aplatissement *moyen* de notre planète. Comparé à la vitesse de rotation de la Terre, il prouve que la densité des couches terrestres va en croissant de la surface au centre; l'on obtient le même résultat pour Jupiter et pour Saturne, quand on compare leurs aplatissements avec les durées de leurs rotations respectives. Ainsi, la

connaissance de la figure extérieure des astres conduit à celle des propriétés de leur masse intérieure.

Les deux hémisphères paraissent avoir à peu près la même courbure sous les mêmes latitudes (35) ; mais les mesures de degrés et les observations du pendule donnent, pour les diverses localités, des résultats tellement différents, qu'aucune figure régulière ne peut s'adapter à toutes les déterminations ainsi obtenues. La figure réelle de la Terre est, à une figure régulière, géométrique, « ce que la surface accidentée d'une eau en mouvement est à celle d'une eau tranquille. »

Après avoir ainsi mesuré la Terre, il fallait encore la peser. Plusieurs méthodes ont été imaginées dans ce but. La première consiste à déterminer, par une combinaison de mesures astronomiques et géodésiques, la quantité dont le fil à plomb dévie de la verticale sous l'influence d'une montagne voisine. La seconde est fondée sur la comparaison des longueurs d'un pendule qu'on a fait osciller d'abord au pied, puis au sommet d'une montagne. La troisième méthode est celle de la balance de torsion, qu'on peut aussi considérer comme un pendule oscillant horizontalement. De ces trois procédés (36), le dernier est le plus sûr, parce qu'il n'exige pas, comme les deux autres, la détermination toujours difficile de la densité des minéraux dont se compose une montagne. Les recherches récentes que Reich a faites avec la balance de torsion, ont fixé la densité moyenne de

la Terre entière à 5,44, celle de l'eau pure étant prise pour unité. Or, d'après la nature des roches qui composent les couches supérieures de la partie solide du globe, la densité des continents est à peine 2,7; par conséquent, la densité moyenne des continents et des mers n'atteint pas 1,6. On voit par là combien la densité des couches intérieures doit croître vers le centre, soit par suite de la pression qu'elles supportent, soit à cause de la nature de leurs matériaux. C'est une nouvelle raison à ajouter à celles qui ont fait donner au pendule vertical ou horizontal, le nom d'instrument géognostique.

Plusieurs physiciens célèbres, placés à des points de vue différents, ont tiré de ce résultat des conclusions diamétralement opposées sur l'intérieur de notre globe. Ainsi, l'on a calculé à quelle profondeur les liquides et même les gaz doivent avoir acquis, sous la pression des couches supérieures, une densité plus forte que celle du platine ou de l'iridium; puis, pour accorder l'hypothèse de la compressibilité indéfinie de la matière avec l'aplatissement, dont la valeur est fixée aujourd'hui entre des limites très-rapprochées, l'ingénieux Leslie se vit conduit à présenter l'intérieur du globe terrestre comme une caverne sphérique « remplie d'un fluide impondérable, mais doué d'une force d'expansion énorme. » Ces conceptions hardies firent naître bientôt des idées encore plus fantastiques dans des esprits entièrement étrangers aux sciences. On en vint à faire croître des plantes dans cette sphère creuse; on la peupla d'animaux, et,

pour en chasser les ténèbres, on y fit circuler deux astres, Pluton et Proserpine. Ces régions souterraines furent douées d'une température toujours égale, d'un air toujours lumineux par suite de la pression qu'il supporte : on oubliait sans doute qu'on y avait déjà placé deux soleils pour l'éclairer. Enfin, près du pôle nord, par 82° de latitude, se trouvait une immense ouverture par où devait s'écouler la lumière des aurores boréales, et qui permettait de descendre dans la sphère creuse. Sir Humphry Davy et moi, nous fûmes instamment et publiquement invités, par le capitaine Symmes, à entreprendre cette expédition souterraine. Telle est l'énergie de ce penchant maladif qui porte certains esprits à peupler de merveilles les espaces inconnus, sans tenir compte ni des faits acquis à la science, ni des lois universellement reconnues dans la nature. Déjà, vers la fin du XVIIe siècle, le célèbre Halley, dans ses spéculations magnétiques, avait creusé ainsi l'intérieur de la Terre : il supposait qu'un noyau, tournant librement dans cette cavité souterraine, produisait les variations annuelles et diurnes de la déclinaison de l'aiguille aimantée. Ces idées, qui ne furent jamais qu'une pure fiction pour l'ingénieux Holberg, ont fait fortune de nos jours, et l'on a cherché, avec un sérieux incroyable, à leur donner une couleur scientifique.

La figure, la densité et la consistance actuelles du globe sont intimement liées aux forces qui agissent dans son sein, indépendamment de toute influence extérieure. Ainsi, la force centrifuge, conséquence

du mouvement de rotation dont le sphéroïde terrestre est animé, a déterminé l'aplatissement du globe; à son tour, l'aplatissement dénote la fluidité primitive de notre planète. Une énorme quantité de chaleur latente est devenue libre par la solidification de cette masse fluide, et si, comme le veut Fourier, les couches superficielles, en rayonnant vers les espaces célestes, se sont refroidies et solidifiées les premières, les parties plus voisines du centre doivent avoir conservé leur fluidité et leur incandescence primitives. Longtemps cette chaleur interne a traversé l'écorce ainsi formée, pour se perdre ensuite dans l'espace; puis à cette période a succédé un état d'équilibre stable dans la température du globe, en sorte qu'à partir de la surface, la chaleur doit aller en croissant graduellement vers le centre. En fait, cet accroissement se trouve établi d'une manière irrécusable, au moins jusqu'à une grande profondeur, par la température des eaux qui jaillissent des puits artésiens, par celle des roches qu'on exploite dans les mines profondes, et surtout par l'activité volcanique de la Terre, c'est-à-dire par l'éruption des masses liquéfiées qu'elle rejette de son sein. D'après des inductions, fondées à la vérité sur de simples analogies, il est hautement probable que cet accroissement se propage jusqu'au centre.

Dans l'ignorance complète où nous sommes sur la nature des matériaux dont l'intérieur de la Terre est formé, sur les degrés divers de capacité pour la chaleur et de conductibilité des couches superposées, enfin

sur les transformations chimiques que les matières solides ou liquides doivent subir sous l'influence d'une pression énorme, nous ne pouvons appliquer sans réserve, à notre planète, les lois de la propagation de la chaleur qu'un profond géomètre a découvertes pour un sphéroïde homogène en métal, à l'aide d'une analyse qu'il avait créée lui-même (37). Déjà notre esprit réussit avec peine à se représenter la limite qui sépare la masse liquide intérieure, des couches solides dont se compose l'écorce terrestre, ou bien cette gradation insensible par laquelle les couches passent de la solidification complète à la demi-fluidité des substances terrestres ramollies, mais non pas en fusion. Or les lois connues de l'hydraulique ne peuvent s'appliquer à cet état intermédiaire sans de grandes restrictions. L'attraction du Soleil et de la Lune, qui soulève les eaux de l'Océan et produit les marées, doit se faire sentir encore sous la voûte formée par les couches déjà solidifiées; il se produit sans doute dans la masse en fusion un flux et un reflux, une variation périodique de la pression que supporte la voûte. Toutefois ces oscillations doivent être fort petites, et ce n'est point à elles, mais à des forces intérieures plus puissantes, qu'il faut attribuer les tremblements de terre. Il existe ainsi des séries entières de phénomènes dont nous pourrions à peine déterminer numériquement la faible influence, mais qu'il est utile de signaler, afin d'établir les grandes lois de la nature dans toute leur généralité, et jusque dans les moindres détails.

D'après les expériences assez concordantes auxquelles on a soumis l'eau de divers puits artésiens, il paraît qu'en moyenne la température de l'écorce terrestre augmente dans le sens vertical, avec la profondeur, à raison de 1° du thermomètre centigrade pour 92 pieds de Paris (30 mètres). Si cette loi s'appliquait à toutes les profondeurs, une couche de granit serait en pleine fusion à une profondeur de 4 myriamètres (4 à 5 fois la hauteur du plus haut sommet de la chaîne de l'Himalaya (38).

La chaleur se propage dans le globe terrestre de trois manières différentes. Le premier mouvement est périodique; il fait varier la température des couches terrestres suivant que la chaleur, d'après les saisons et la position du soleil, pénètre de haut en bas ou s'écoule de bas en haut, en reprenant la même voie, mais en sens inverse. Le deuxième mouvement, qui résulte encore de l'action solaire, est d'une excessive lenteur : une partie de la chaleur qui a pénétré les couches équatoriales, se meut dans l'intérieur de l'écorce terrestre jusque vers les pôles; là, elle se déverse dans l'atmosphère et va se perdre dans les régions éloignées de l'espace. Le troisième mode de propagation est le plus lent de tous; il consiste dans le refroidissement séculaire du globe, c'est-à-dire dans la perte de cette faible partie de la chaleur primitive qui est actuellement transmise à la surface. A l'époque des plus anciennes révolutions de la Terre, cette déperdition de la chaleur centrale a dû être considérable; mais, à partir des temps historiques, elle

s'est tellement ralentie, qu'elle échappe presque à nos instruments de mesure. Ainsi la surface de la Terre se trouve placée entre l'incandescence des couches intérieures et la basse température des espaces célestes, température vraisemblablement inférieure au point de congélation du mercure.

Les variations périodiques que la situation du Soleil et les phénomènes météorologiques produisent dans la température de la surface, ne se propagent dans l'intérieur de la Terre qu'à une très-faible profondeur. Cette lente transmission de la chaleur à travers le sol diminue la déperdition qu'il éprouve pendant l'hiver; elle est favorable aux arbres à racines profondes. Ainsi les points situés à diverses profondeurs, sur une même ligne verticale, atteignent, à des époques très-différentes, le maximum et le minimum de la température qui leur écheoit en partage, et plus ils s'éloignent de la surface, plus la différence de ces deux extrêmes diminue. Dans la région tempérée que nous habitons (lat. 48°-52°), la couche de température invariable se trouve à une profondeur de 24 à 27 mètres; vers la moitié de cette profondeur, les oscillations que le thermomètre éprouve par suite des alternatives des saisons vont à peine à un demi-degré. Sous les tropiques, la couche invariable se trouve déjà à 1 pied au-dessous de la surface, et Boussingault a tiré parti de cette circonstance pour déterminer, d'une manière simple et, à son avis, très-sûre, la température moyenne de l'atmosphère du lieu (39). On peut considérer cette température moyenne de

l'atmosphère, en un point donné de la surface ou mieux dans un groupe de points rapprochés, comme l'élément fondamental qui détermine, dans chaque contrée, la nature du climat et de la végétation. Mais la température moyenne de la surface entière est très-différente de celle du globe terrestre lui-même. On s'enquiert souvent si le cours des siècles a sensiblement modifié cette moyenne température du globe, si le climat d'une région s'est détérioré, si l'hiver n'y serait pas devenu plus doux et l'été moins chaud. Le thermomètre est l'unique moyen de résoudre de pareilles questions, et c'est à peine si sa découverte remonte à deux siècles et demi ; il n'a guère été employé d'une manière rationnelle que depuis cent vingt ans. Ainsi la nature et la nouveauté du moyen restreignent considérablement le champ de nos recherches sur les températures atmosphériques. Il n'en est plus de même, s'il s'agit de la chaleur centrale de la Terre. De même que de l'égalité dans la durée des oscillations d'un pendule, on peut conclure à l'invariabilité de sa température, de même la constance de la vitesse de rotation qui anime le globe terrestre nous donne la mesure de la stabilité de sa température moyenne. La découverte de cette relation entre la *longueur du jour* et la *chaleur du globe*, est assurément l'une des plus brillantes applications qu'on ait pu faire d'une longue connaissance des mouvements célestes, à l'étude de l'état thermique de notre planète. On sait que la vitesse de rotation de la Terre dépend de son volume. La masse de la Terre

venant à se refroidir par voie de rayonnement, son volume doit diminuer; par conséquent, tout décroissement de température correspond à un accroissement de la vitesse de rotation, c'est-à-dire à une diminution dans la longueur du jour. Or, en tenant compte des inégalités séculaires du mouvement de la Lune dans le calcul des éclipses observées aux époques les plus reculées, on trouve que, depuis le temps d'Hipparque, c'est-à-dire depuis deux mille ans, la longueur du jour n'a certainement pas diminué de la centième partie d'une seconde. On peut donc affirmer, en restant dans les mêmes limites, que la température moyenne du globe terrestre n'a pas varié de $\frac{1}{170}$ de degré depuis deux mille ans (40).

Cette invariabilité dans les dimensions suppose une égale invariabilité dans la répartition de la densité à l'intérieur de la Terre. Il en résulte que la formation des volcans actuels, l'éruption de laves ferrugineuses, et le transport des lourdes masses de pierres qui ont comblé les fentes et les crevasses, n'ont produit, en réalité, que des modifications insignifiantes; ce sont des accidents superficiels dont les dimensions s'évanouissent quand on les compare à celles du globe.

Les considérations que je viens de présenter sur la chaleur interne de notre planète reposent presque exclusivement sur les résultats des belles recherches de Fourier. Poisson a élevé des doutes sur la réalité de cet accroissement continu de la chaleur terrestre, depuis la surface du globe jusqu'au centre; suivant lui,

toute chaleur a pénétré de l'extérieur à l'intérieur, et celle qui ne provient pas du Soleil dépend de la température, ou très-haute ou très-basse, des espaces célestes que le système solaire a traversés dans son mouvement de translation. Cette hypothèse émise par un des plus profonds géomètres de notre époque n'a pu satisfaire ni les physiciens, ni les géologues. Mais quelle que soit l'origine de la chaleur interne de notre planète, quelle que soit la cause de son accroissement limité ou illimité vers le centre, toujours est-il que la connexité intime de tous les phénomènes primordiaux de la matière, et le lien caché qui unit entre elles les forces moléculaires, nous conduisent à rattacher, à la chaleur centrale du globe, les mystérieux phénomènes du *magnétisme terrestre*. En effet, le magnétisme terrestre dont le caractère principal est de présenter, dans son triple mode d'action, une continuité de variations périodiques, doit être attribué, soit aux inégalités de la température du globe (41), soit à ces courants galvaniques que nous considérons comme de l'électricité en mouvement dans un circuit fermé (42). La marche mystérieuse de l'aiguille aimantée dépend à la fois du temps et de l'espace, du cours du Soleil et de la position géographique. A l'inspection d'une aiguille aimantée, de même que, sous les tropiques, à la vue des oscillations du baromètre, on peut reconnaître l'heure de la journée. Bien plus, les aurores boréales, ces lueurs rougeâtres qui colorent le ciel de nos régions arctiques, exercent sur elle une action passagère, mais immédiate. Lorsque le mouvement ho-

raire de l'aiguille est troublé par un *orage magnétique*, il arrive souvent que la perturbation se manifeste simultanément et dans toute la rigueur de ce terme, sur terre et sur mer, à des centaines et à des milliers de lieues; ou bien elle se propage dans tous les sens à la surface du globe, d'une manière successive et à de petits intervalles de temps (43). Dans le premier cas, la simultanéité des phénomènes pourrait servir à déterminer les longitudes géographiques, tout comme les éclipses des satellites de Jupiter, les signaux de feu et les étoiles filantes convenablement observées. On reconnaît avec admiration que les mouvements saccadés de deux petites aiguilles aimantées pourraient faire connaître la distance qui les sépare, même quand elles seraient suspendues sous terre à de grandes profondeurs, et nous apprendre, par exemple, à quelle distance Casan se trouve placé à l'orient de Gœttingue ou de Paris. Il existe sur le globe des régions où un navigateur, enveloppé par les brouillards pendant de longues journées, est souvent privé des moyens astronomiques qui servent à déterminer l'heure et la position du navire : l'inclinaison de l'aiguille lui indiquerait alors, avec exactitude, s'il se trouve au nord ou au sud d'un port où il doit relâcher (44).

Mais si la perturbation qui vient affecter subitement la marche horaire de l'aiguille, annonce et prouve l'existence d'un orage magnétique, il faut avouer que le lieu où gît la cause perturbatrice est encore à chercher; existe-t-elle dans l'écorce terrestre ou dans les

régions supérieures de l'atmosphère? la question n'est malheureusement pas soluble actuellement. Si l'on considère la Terre comme un aimant réel, il faut alors, suivant l'expression du célèbre fondateur d'une théorie générale du magnétisme terrestre, Frédéric Gauss, attribuer à la Terre, par chaque huitième de mètre cubique, la force magnétique d'un barreau aimanté dont le poids serait d'une livre (45). S'il est vrai que le fer, le nickel, et probablement le cobalt (mais non le chrome (46), qu'on a longtemps adjoint aux précédents métaux) soient les seules substances qui puissent retenir d'une manière durable les propriétés magnétiques, en vertu d'une certaine force coercitive, d'un autre côté, le magnétisme de rotation d'Arago et les courants d'induction de Faraday prouvent que toutes les substances terrestres peuvent devenir *passagèrement* magnétiques. Les recherches du premier de ces deux illustres physiciens ont établi que l'eau, la glace (47), le verre, le charbon et le mercure exercent une action sur les oscillations de l'aiguille aimantée. Presque toutes les substances présentent un certain degré d'aimantation lorsqu'elles jouent le rôle de conducteurs, c'est-à-dire lorsqu'elles sont traversées par un courant d'électricité.

Les peuples occidentaux paraissent avoir connu très-anciennement la force d'attraction des aimants naturels; mais, fait bien remarquable, ce sont les peuples de l'extrémité orientale de l'Asie, les Chinois, qui seuls ont connu l'action directrice que le globe terrestre exerce sur l'aiguille aimantée. Mille ans et plus,

avant notre ère, à l'époque si obscure de Codrus et du retour des Héraclides dans le Péloponnèse, les Chinois avaient déjà des *balances magnétiques*, dont un des bras portait une figure humaine qui indiquait constamment le sud ; et ils se servaient de cette boussole pour se diriger à travers les steppes immenses de la Tartarie. Déjà au IIIe siècle de notre ère, c'est-à-dire sept cents ans au moins avant l'introduction de la boussole dans les mers européennes, les jonques chinoises naviguaient sur l'océan Indien (48) d'après l'indication magnétique du sud. J'ai fait voir, dans un autre ouvrage, quelle supériorité (49) la connaissance et l'emploi de l'aiguille aimantée, à ces époques reculées, avaient donnée aux géographes chinois sur les géographes grecs ou romains qui ignorèrent toujours, par exemple, la vraie direction des Apennins et des Pyrénées.

La force magnétique de notre planète se manifeste à la surface par trois classes de phénomènes, dont l'une répond à l'*intensité* variable de la force elle-même, tandis que les deux autres comprennent les faits relatifs à sa direction variable, c'est-à-dire l'*inclinaison* et la *déclinaison ;* ce dernier angle est compté en chaque lieu, dans le sens horizontal, à partir du méridien terrestre. L'effet complet que le magnétisme produit à l'extérieur, peut ainsi se représenter graphiquement à l'aide de trois systèmes de lignes, à savoir : les lignes *isodynamiques*, les lignes *isocliniques* et les lignes *isogoniques*, ou, en d'autres termes, les lignes d'égale intensité, d'égale inclinaison, et d'égale

déclinaison. La distance et la position relative de ces lignes ne restent point constantes : elles sont soumises à de continuels déplacements oscillatoires. Cependant il est sur la surface du globe des points (50), tels que la partie occidentale des Antilles et le Spitzberg, où la déclinaison de l'aiguille aimantée ne varie pas, ou du moins ne varie que de quantités à peine sensibles dans le cours entier d'un siècle. De même, si des lignes isogoniques, par suite de leur mouvement séculaire, viennent à passer de la surface de la mer sur un continent ou sur une île un peu considérable, elles s'y arrêtent longtemps, et s'y recourbent à mesure qu'elles avancent ailleurs.

Ces déplacements successifs et ces modifications inégales des déclinaisons orientales et occidentales, compliquent les représentations graphiques qui répondent à des siècles différents, et empêchent d'y reconnaître facilement les rapports et les analogies des formes. Telle branche d'une courbe a toute une histoire particulière; mais, chez les peuples occidentaux, cette histoire ne remonte pas au delà de l'époque mémorable (13 sept. 1492) où le grand homme qui fit la seconde découverte du Nouveau-Monde, reconnut une ligne sans déclinaison vers 3° à l'ouest du méridien de l'une des Açores, l'île de Flores (51). Sauf une petite partie de la Russie, l'Europe entière a maintenant une déclinaison occidentale, tandis qu'à la fin du XVIIe siècle, à Londres en 1657, puis en 1669 à Paris, l'aiguille était dirigée exactement vers le pôle (malgré la faible distance de ces deux villes, la différence des deux

époques est ici de douze années). Deux excellents observateurs, Hansteen et Adolphe Erman, ont signalé l'étonnant phénomène que les lignes d'égale déclinaison présentent dans les vastes régions de l'Asie septentrionale : concaves vers le pôle entre Obdorff sur l'Obi et Turuchansk, elles sont convexes entre le lac Baïkal et la mer d'Ochotsk. Dans ces régions du nord de l'Asie orientale, entre la chaîne de Werchojansk, Jakoutsk et la Corée septentrionale, les lignes isogoniques forment un système particulier très-remarquable, dont la forme ovalaire (52) se reproduit sur une plus grande échelle dans la mer du Sud, presque sous le méridien de Pitcairn et de l'archipel des Marquises, entre 20° de latitude boréale et 45° de latitude australe. On serait porté à attribuer ces systèmes isolés, fermés de toutes parts et formés de courbes presque concentriques, à des propriétés locales du globe terrestre ; mais si de tels systèmes, en apparence isolés, doivent se déplacer aussi dans la suite des siècles, il faudrait en conclure que ces phénomènes, comme tous les grands faits naturels, se rapportent à une cause beaucoup plus générale.

Les variations horaires de la déclinaison dépendent du temps vrai ; elles sont réglées par le Soleil, tant que cet astre est sur l'horizon du lieu, et elles décroissent en valeur angulaire avec la latitude magnétique. Près de l'équateur, par exemple dans l'île de Rawak, elles sont à peine de trois à quatre minutes, tandis qu'elles montent à treize ou quatorze minutes dans l'Europe centrale. Or, comme depuis 8 ½ heures

du matin, jusqu'à 1 $\frac{1}{2}$ du soir, terme moyen, l'extrémité boréale de l'aiguille marche de l'est à l'ouest dans l'hémisphère septentrional, et de l'ouest à l'est dans l'hémisphère austral, on a eu raison d'avancer (53) qu'il doit y avoir sur la terre une région, située probablement entre l'équateur terrestre et l'équateur magnétique, où la variation horaire de la déclinaison est nulle. Cette dernière courbe pourrait être nommée *ligne sans variation horaire de la déclinaison*; elle n'a pas été trouvée jusqu'à présent.

De même qu'on a donné le nom de *pôles magnétiques* à ces points de la surface terrestre où la force horizontale disparaît, points dont l'importance a, du reste, été fort exagérée (54), de même l'*équateur magnétique* est la courbe des points où l'inclinaison de l'aiguille est nulle. La position de cette ligne et les changements séculaires de sa forme ont été, dans ces derniers temps, l'objet de sérieuses recherches. D'après les excellents travaux de Duperrey (55), qui a traversé l'équateur magnétique à six reprises différentes, de 1822 à 1825, les nœuds des deux équateurs, c'est-à-dire les deux points où la *ligne sans inclinaison* coupe l'équateur terrestre et passe ainsi d'un hémisphère dans l'autre, sont placés d'une manière peu régulière ; en 1825, le nœud qui se trouvait près de l'île de Saint-Thomas, vers la côte occidentale de l'Afrique, était à 188° $\frac{1}{2}$ du nœud situé dans la mer du Sud, près des petites îles de Gilbert, à peu près sous le méridien de l'archipel de Viti. Au commencement de ce siècle, j'ai déterminé astrono-

miquement, à 3600 mètres au-dessus du niveau de la mer, le point (7° 1′ lat. aust. et 48° 40′ long. occid.) où la chaîne des Andes est coupée par l'équateur magnétique, entre Quito et Lima. A l'ouest de ce point, l'équateur magnétique traverse presque toute la mer du Sud dans l'hémisphère austral, et se rapproche lentement de l'équateur terrestre. Il passe dans l'hémisphère septentrional un peu en avant de l'archipel Indien, touche seulement les extrémités méridionales de l'Asie, et pénètre ensuite dans le continent africain, à l'ouest de Socotora, vers le détroit de Bab-el-Mandeb; c'est alors qu'il s'écarte le plus de l'équateur terrestre. Après avoir traversé les régions inconnues de l'intérieur du continent africain dans la direction sud-ouest, l'équateur magnétique revient dans la zone australe des tropiques, vers le golfe de Guinée; il s'écarte alors tellement de l'équateur terrestre, qu'il va couper la côte brésilienne par 15° de latitude australe, vers Os Ilheos, au nord de Porto-Seguro. De là aux plateaux élevés des Cordillères, où je pus observer l'inclinaison de l'aiguille entre les mines d'argent de Micuipampa et l'ancienne résidence des Incas, Caxamarca, il parcourt toute l'Amérique du Sud, vaste contrée qui, vers ces latitudes, est encore pour nous une *terra incognita* magnétique, de même que l'Afrique centrale.

De nouvelles observations, recueillies et discutées par Sabine (56), nous ont appris que, de 1825 à 1837, le nœud de l'île Saint-Thomas s'est déplacé de 4° en avançant de l'Orient vers l'Occident. Il serait ex-

trêmement important de savoir si l'autre nœud, situé dans la mer du Sud, vers les îles Gilbert, a marché vers l'ouest d'une quantité égale, en se rapprochant du méridien des Carolines. On peut voir, par cet aperçu général, comment les différents systèmes de lignes isocliniques se relient à cette grande ligne sans inclinaison dont les variations de forme et de position changent les latitudes magnétiques, et influent ainsi sur l'inclinaison de l'aiguille, jusque dans les contrées les plus éloignées (57). On voit aussi que, par une favorable répartition des terres et des mers, les $\frac{4}{5}$ de l'équateur magnétique sont situés sur l'Océan; or, comme nous possédons aujourd'hui les moyens de mesurer en mer, avec la dernière exactitude, l'inclinaison et la déclinaison de l'aiguille aimantée, cette position océanique n'est pas un médiocre avantage pour l'étude du magnétisme terrestre.

Après avoir exposé la distribution du magnétisme à la surface du globe, sous le double point de vue de la déclinaison et de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, il nous reste encore à l'envisager par rapport à l'intensité de la force elle-même, intensité que les lignes isodynamiques sont destinées à représenter graphiquement. Le vif intérêt qu'inspirent universellement aujourd'hui l'étude et la mesure de cette force par la méthode des oscillations d'une aiguille verticale ou horizontale, ne remonte pas au delà du commencement de ce siècle. Grâce aux ressources perfectionnées de l'optique et de la chronométrie, ce genre de mesure dépasse en exactitude

toutes les autres déterminations magnétiques. Sans doute les lignes isogoniques sont plus importantes pour le navigateur et pour le pilote; mais s'il s'agit de la théorie du magnétisme terrestre, les lignes d'égale intensité sont celles dont on espère aujourd'hui les résultats les plus féconds (58). Le premier fait que l'on ait constaté, par des mesures directes, c'est la décroissance de l'intensité totale en allant de l'équateur vers le pôle (59).

Si nous connaissons actuellement la loi que suit cette diminution d'intensité et la distribution géographique de tous les termes dont elle se compose, nous le devons, surtout depuis 1819, à l'infatigable activité d'Édouard Sabine. Après avoir observé les oscillations de l'aiguille avec les mêmes appareils, au pôle nord américain, au Groenland, au Spitzberg, sur les côtes de Guinée et au Brésil, Sabine s'est encore occupé de rassembler et de coordonner tous les documents capables d'éclaircir la grande question des lignes isodynamiques. J'ai moi-même donné, pour une petite partie de l'Amérique du Sud, le premier essai d'un système isodynamique divisé par zones. Ces lignes ne sont pas parallèles à celles d'égale inclinaison ; la force magnétique est loin d'atteindre son minimum d'intensité à l'équateur, comme on le crut d'abord; elle n'y est même uniforme nulle part. Lorsque l'on compare les observations d'Erman dans la partie méridionale de l'océan Atlantique, où se trouve une zone de faible intensité (0,706) qui va d'Angola, par l'île de Sainte-Hélène, jusqu'aux côtes

du Brésil, avec les dernières observations du grand navigateur James Clark Ross, près du cap Crozier, on trouve que la force magnétique augmente presque dans le rapport de 1 à 3, vers le pôle magnétique austral (ce pôle est situé sur la terre Victoria, à l'ouest du volcan Erebus, dont le sommet s'élève, au milieu des glaces, à 3800 mètres au-dessus de la mer) (60). La plus forte intensité magnétique que l'on ait mesurée est en effet 2,071 par 60° 19′ de latitude sud, et 129° 0′ de longitude est (l'unité adoptée dans ce genre d'évaluation est l'intensité que j'ai déterminée au Pérou sur l'équateur magnétique); Sabine a trouvé qu'elle était seulement 1,624 au pôle magnétique nord, près des îles Melville, par 74° 27′ de latitude septentrionale, tandis qu'elle est 1,803 à New-York, c'est-à-dire sous la même latitude que Naples.

Les brillantes découvertes d'Oersted, d'Arago et de Faraday, ont établi un rapport intime entre la tension électrique de l'atmosphère et la tension magnétique du globe terrestre. D'après Oersted, un conducteur est aimanté par le courant électrique qui le traverse; d'après Faraday, le magnétisme fait naître, par induction, des courants électriques. Ainsi le magnétisme n'est qu'une des formes multiples sous lesquelles l'électricité peut se manifester; il était réservé à notre époque de prouver l'identité des forces électriques et magnétiques, identité pressentie obscurément dès les temps les plus reculés. « Lorsque l'ambre (*electrum*) est *animé* par le frottement et par la chaleur, dit Pline (61) d'après Thalès et l'école ionique, il attire les

fragments d'écorce et de feuilles sèches, tout comme l'aimant attire le fer. » On retrouve la même idée dans les annales scientifiques d'un peuple qui occupe l'extrémité orientale de l'Asie, et le physicien chinois Kuopho l'a reproduite, avec les mêmes termes, dans son éloge de l'aimant (62). A ma grande surprise, j'ai dû reconnaître que les sauvages des bords de l'Orénoque, une des races les plus dégradées de la terre, savent produire de l'électricité par le frottement ; les enfants de ces tribus s'amusaient à frotter les graines aplaties, desséchées et brillantes, d'une plante grimpante à siliques (c'était probablement une *negretia*), jusqu'à ce qu'elles attirassent des brins de coton ou de roseaux. Ce n'était là qu'un jouet d'enfant pour ces sauvages nus, au teint cuivré ; mais pour nous, quel sujet de sérieuses réflexions ! Quel abîme entre ces jeux électriques des sauvages et nos paratonnerres, nos piles voltaïques, nos appareils magnétiques producteurs d'étincelles ! Des milliers d'années de progrès et de développement intellectuel ont creusé cet abîme.

Quand on réfléchit à la perpétuelle mobilité des phénomènes du magnétisme terrestre, lorsqu'on voit l'intensité, la déclinaison, l'inclinaison, varier à la fois avec les heures du jour et de la nuit, avec les saisons de l'année, et même avec le nombre des années écoulées, on ne peut se refuser à croire que les courants électriques dont ces phénomènes dépendent, forment des systèmes partiels très-complexes dans l'intérieur de l'écorce de notre planète. Mais quelle est l'origine

de ces courants ? Sont-ils , comme dans les expériences de Seebeck , de simples courants thermo-électriques , produits par l'inégale répartition de la chaleur, ou plutôt des courants d'induction nés de l'action calorifique du Soleil (63) ? Accorderons-nous une certaine influence sur la distribution des forces magnétiques au mouvement de rotation de la Terre et aux vitesses différentes que les zones possèdent d'après leurs distances à l'équateur ? Peut-être existe-t-il un centre d'action magnétique dans les espaces interplanétaires, ou dans une certaine polarité du Soleil et de la Lune. Ces dernières hypothèses rappellent que Galilée, dans son célèbre *Dialogo*, explique la direction constante de l'axe de la terre, par un centre d'action magnétique situé dans les espaces célestes.

Si l'on se représente l'intérieur du globe terrestre comme une masse liquéfiée par une chaleur énorme, il faut renoncer à ce noyau magnétique, dont certains physiciens ont doué la Terre , pour expliquer les phénomènes qui nous occupent. Cependant le magnétisme ne disparaît complétement qu'à la chaleur blanche (64) , et le fer en conserve encore des traces quand sa température ne dépasse point le rouge obscur : quelles que soient, d'ailleurs, dans ces expériences, les modifications qu'éprouve l'état moléculaire des corps, et par suite , leur force coercitive , il restera toujours une notable épaisseur de l'écorce terrestre où nous pourrons chercher le siége des courants magnétiques. On attribuait autrefois les variations horaires de la déclinaison à l'échauffement

progressif de la Terre sous l'influence du mouvement diurne apparent du Soleil ; mais cette action n'intéresse que la couche la plus superficielle, car des observations faites avec soin en plusieurs lieux du globe, à l'aide de thermomètres enfoncés dans le sol à diverses profondeurs, ont montré avec quelle lenteur la chaleur solaire pénètre à quelques pieds seulement. En outre, l'état thermique de la surface de la mer, qui forme les $\frac{2}{3}$ de celle du globe entier, s'accordera difficilement avec cette théorie, tant qu'il s'agira d'une action immédiate, et non d'une action d'induction exercée par les couches d'air ou de vapeurs aqueuses de l'atmosphère.

Ainsi, dans l'état actuel de nos connaissances, il faut se résoudre à ignorer les dernières causes physiques de ces phénomènes compliqués; si la science a fait récemment de brillants progrès, c'est dans une autre voie; c'est par la détermination numérique des valeurs moyennes de tout ce qui peut-être soumis à nos mesures de temps ou d'espace ; c'est en dirigeant tous les efforts vers ce qu'il y a de constant et de régulier au fond de ces apparences variables. De Toronto, dans le haut Canada, au cap de Bonne-Espérance et à la terre de Van-Diemen, de Paris à Pékin, la terre est couverte, depuis 1828, d'*observatoires magnétiques* (65), où l'on épie sans cesse chaque manifestation régulière ou irrégulière du magnétisme terrestre, à l'aide d'observations simultanées. On y mesure des variations de $\frac{1}{40000}$ dans l'intensité totale. A certaines époques, on y observe pendant 24 heures consécutives, par inter-

valles de deux minutes et demie. En trois ans, d'après les calculs d'un illustre astronome anglais (66), le nombre des observations à discuter s'élèvera à 1958000. Jamais efforts aussi grandioses, aussi dignes d'admiration, n'ont été tentés dans le but d'approfondir une des grandes lois de la nature. En comparant ces lois à celles qui règnent dans notre atmosphère ou dans certaines régions plus éloignées encore, on pourra remonter, tout nous porte à le croire, jusqu'à la source même des manifestations magnétiques. Dès à présent du moins, il nous est permis de nous glorifier du nombre et de l'importance des moyens qui sont mis en œuvre ; mais prétendre que la théorie physique du magnétisme terrestre ne laisse plus rien à désirer aujourd'hui, ce serait agir comme font ceux qui ne tiennent compte des faits qu'autant qu'ils s'accommodent à leurs spéculations.

D'intimes rapports unissent à la fois le magnétisme du globe et les forces électro-dynamiques qu'Ampère a mesurées (67), à la production de la lumière polaire, ainsi qu'à la chaleur de notre planète, dont les pôles magnétiques sont considérés comme des pôles de froid (68). Il y a plus de 128 ans, Halley soupçonnait que les aurores boréales pourraient bien être de simples phénomènes magnétiques (69) : aujourd'hui, la brillante découverte de Faraday, qui fit naître de la lumière par l'action des seules forces magnétiques, a donné à ce vague soupçon la valeur d'une certitude expérimentale.

Il existe des phénomènes avant-coureurs de l'au-

rore boréale : déjà pendant le jour qui précède l'apparition nocturne, la marche irrégulière de l'aiguille aimantée annonce une perturbation dans l'équilibre des forces magnétiques de la terre. Lorsque cette perturbation s'est développée dans toute son énergie, l'équilibre troublé se rétablit par une décharge accompagnée de lumière. « Il ne faut pas considérer l'aurore boréale elle-même comme la cause extérieure de la perturbation, mais comme le résultat d'une activité terrestre, dont la puissance s'élève jusqu'à faire naître des phénomènes lumineux, et qui se manifeste ainsi, d'un côté, par cette production de lumière, de l'autre, par les oscillations de l'aiguille aimantée (70). » L'apparition de l'aurore boréale est l'acte qui met fin à un *orage magnétique*, de même que, dans les orages électriques, un phénomène de lumière, l'éclair, annonce que l'équilibre momentanément troublé, vient de se rétablir enfin dans la distribution de l'électrité. L'orage électrique est d'ordinaire circonscrit dans un faible espace, hors duquel l'état électrique de l'atmosphère n'a point été troublé. L'orage magnétique, au contraire, étend son influence sur une grande partie des continents; et, c'est encore là une découverte d'Arago, cette action se fait sentir loin des lieux où le phénomène de lumière a été visible. Lorsque le ciel se couvre de nuages orageux, lorsque l'atmosphère passe fréquemment d'un état électrique à l'état opposé, il n'arrive pas toujours que les décharges se manifestent par des éclairs; de même, les orages magnétiques peuvent produire de grandes perturba-

tions dans la marche horaire de l'aiguille aimantée, sans que l'équilibre doive *nécessairement* se rétablir, du pôle à l'équateur, ou même d'un pôle à l'autre, par une production d'effluves lumineuses.

Pour réunir dans un seul tableau tous les traits qui caractérisent le phénomène, il faut décrire d'abord la naissance, puis les diverses phases d'une aurore boréale complétement développée. A l'horizon, vers le méridien magnétique du lieu, le ciel, d'abord pur, commence à se rembrunir; il s'y forme une sorte de voile nébuleux qui monte lentement et finit par atteindre une hauteur de 8 ou 10 degrés. A travers ce segment obscur, dont la couleur passe du brun au violet, les étoiles se voient comme à travers un épais brouillard. Un arc plus large, mais d'une lumière éclatante, d'abord blanc, puis jaune, borde le segment obscur; mais comme cet arc lumineux apparaît plus tard que le segment, il est impossible, d'après la remarque d'Argelander, d'attribuer la présence de ce dernier à un simple effet de contraste avec l'arc brillant (71). Des mesures précises ont montré que le point le plus élevé de l'arc lumineux n'est pas situé dans le méridien magnétique, mais qu'il s'en écarte ordinairement de 5° à 18° du côté vers lequel la déclinaison magnétique du lieu se dirige (72). Sous les hautes latitudes, dans les régions très-voisines du pôle magnétique, le segment inférieur paraît moins sombre, et le milieu de l'arc brillant s'éloigne, plus que partout ailleurs, du méridien magnétique.

Quelquefois l'arc lumineux paraît agité, pendant des heures entières, par une sorte d'effervescence et par un continuel changement de forme, avant de lancer des rayons et des colonnes de lumière qui montent jusqu'au zénith. Plus l'émission de la lumière polaire est intense, et plus vives en sont les couleurs, qui, du violet et du blanc bleuâtre, passent, par toutes les nuances intermédiaires, au vert et au rouge purpurin. Il en est de même des étincelles électriques : elles ne se colorent que si la tension est forte et l'explosion violente. Tantôt les colonnes de lumière paraissent sortir de l'arc brillant, mélangées de rayons noirâtres semblables à une fumée épaisse; tantôt elles s'élèvent simultanément en différents points de l'horizon; elles se réunissent en une mer de flammes dont aucune peinture ne saurait rendre la magnificence, car à chaque instant, de rapides ondulations en font varier la forme et l'éclat. A certains moments, l'intensité de cette lumière est telle, que Lowenœrn put reconnaître en plein soleil, le 29 janvier 1786, les jeux de lumière et les ondulations de l'aurore boréale. Le mouvement, en effet, paraît accroître la visibilité du phénomène. Autour du point qui répond, dans le ciel, à la direction de l'aiguille librement suspendue par son centre de gravité, les rayons paraissent se rassembler, et former alors ce qu'on nomme la *couronne* de l'aurore boréale; c'est une espèce de dais céleste formé d'une lumière douce et paisible. Il est rare que l'apparition soit aussi complète, et qu'elle se prolonge jusqu'à la formation de

cette couronne; mais quand celle-ci paraît, elle annonce toujours la fin du phénomène. Les rayons deviennent alors plus rares, plus courts et moins vivement colorés. La couronne et les arcs lumineux se dissolvent, et bientôt on ne voit plus sur la voûte céleste que de larges taches nébuleuses immobiles, pâles, ou d'une couleur cendrée; elles ont déjà disparu, que les traces du segment obscur, par où l'apparition débuta, persistent encore à l'horizon. Enfin, il ne reste souvent, de tout ce beau spectacle, qu'un faible nuage blanchâtre, à bords déchiquetés, ou divisé en petits amas comme les *cirro-cumuli*.

Cette liaison qui paraît exister entre la lumière polaire et l'apparition d'une certaine espèce de nuages, nous montre que la production de la lumière électro-magnétique est une simple phase d'un phénomène *météorologique*. On dirait que le magnétisme terrestre agit sur l'atmosphère en condensant les vapeurs qui s'y trouvent dissoutes. Thieneman croyait même que ces nuages pommelés étaient le *substratum* de la lumière polaire, et ses observations d'Islande ont été pleinement confirmées par les observations plus récentes de Franklin et de Richardson au pôle Nord américain, et par celles de l'amiral Wrangel sur les côtes sibériennes de la mer Glaciale. Tous ont affirmé que « la lumière polaire émettait ses plus vifs rayons lorsque les hautes régions de l'air contenaient des amas de *cirro-strati* assez ténus et assez légers pour faire naître une couronne autour de la Lune. » Quelquefois les nuages se groupent et s'arrangent en

plein jour à peu près comme les rayons d'une aurore boréale ; alors ils paraissent troubler l'aiguille aimantée. Après une brillante aurore boréale, on a pu reconnaître, dans la matinée suivante, des traînées de nuages qui avaient paru, pendant la nuit, autant de rayons lumineux (73). Des bandes polaires convergentes, c'est-à-dire des traînées de nuages qui se disposent dans le sens du méridien magnétique, ont attiré mon attention pendant mes voyages au Mexique et dans l'Asie septentrionale. Il faut classer sans doute ces apparitions parmi les phénomènes diurnes que je viens de citer (74).

On voit assez souvent des *aurores australes* dans nos climats (Dalton en a observé plusieurs en Angleterre), et l'on voit des *aurores boréales* entre les tropiques, au Mexique par exemple, au Pérou et même jusqu'au 45ᵉ degré de latitude australe (le 14 janvier 1831); il n'est pas rare que l'équilibre magnétique soit troublé simultanément vers les deux pôles. Toujours est-il que l'aspect du phénomène dépend de la position de l'observateur : chacun voit son aurore boréale, de même que chacun voit son arc-en-ciel. Il faut distinguer entre la zone terrestre, où l'apparition lumineuse, quand elle s'y manifeste, est partout visible au même instant, et les régions beaucoup moins étendues où elle se reproduit presque toutes les nuits. Souvent la même aurore a été observée à la même heure en Angleterre et en Pennsylvanie, à Rome et à Pékin ; seulement la fréquence de ces apparitions diminue avec la latitude magnétique, ou, en

d'autres termes, elle décroît à mesure que le lieu de l'observation s'éloigne, non du pôle terrestre, mais du pôle magnétique. Tandis qu'en Italie une aurore boréale est un phénomène excessivement rare, rien n'est plus fréquent, au contraire, en Amérique, sur le parallèle de Philadelphie (lat. 39°57′ N.), parce que ces régions sont moins éloignées du pôle magnétique. En Irlande, au Groenland, à Terre-Neuve, sur les bords du lac de l'Esclave, et à Fort-Entreprise dans le Haut-Canada, chaque nuit, vers certaines époques de l'année, le ciel s'illumine de lueurs changeantes, et, comme le disent les habitants des îles Shetland, les jets de lumière forment dans le ciel « une danse joyeuse (75). » Dans ces régions où le phénomène se reproduit avec une fréquence exceptionnelle, il existe des zones, on dirait presque des veines, où les aurores sont plus brillantes que partout ailleurs, sans doute à cause de certaines influences locales (76). Wrangel voyait leur éclat diminuer à mesure qu'il s'éloignait du littoral de la mer Glaciale, vers Nijné-Kolymsk. Enfin, les aurores boréales ne sont ni plus vives ni plus fréquentes au pôle magnétique lui-même, qu'à une certaine distance de ce point; c'est, du moins, ce que les documents recueillis dans les expéditions polaires semblent indiquer.

Quant à la hauteur absolue des aurores boréales, ce que nous en savons repose sur des mesures angulaires qui ne sauraient inspirer une grande confiance, à cause de l'incertitude où les oscillations continuelles de la lumière laissent l'observateur sur ses véritables

limites; aussi les résultats de ces mesures varient-ils entre quelques myriamètres et 1000 ou 1200 mètres, même en rejetant les mesures anciennes (77); il est probable que ces hauteurs varient effectivement d'une époque à l'autre. Bien plus, les derniers observateurs placent le siége de ces apparitions, non pas à la limite de notre atmosphère, mais dans la région où se forment les nuages et les amas de vapeurs vésiculaires; ils croient que les vents et les courants aériens peuvent déplacer les rayons des aurores boréales, et cela aurait lieu en effet si la production du courant électro-magnétique dont elles nous révèlent l'existence se rattachait à celle des nuages et des vapeurs, ou plutôt si ce courant les traversait réellement en passant d'une vésicule à l'autre. Sur les bords du lac du Grand-Ours, le capitaine Franklin vit une aurore boréale dont la lumière lui parut éclairer la surface inférieure d'une couche de nuages, tandis qu'à 3 ou 4 myriamètres plus loin, Kendal, qui avait veillé toute la nuit sans perdre un seul moment le ciel de vue, n'aperçut aucune trace de lumière. On a prétendu, dans ces derniers temps, que les rayons de l'aurore boréale se rapprochent quelquefois de la Terre, et viennent même s'interposer entre l'observateur et une élévation voisine; mais ces apparences pourraient s'expliquer sans doute par les illusions d'optique dont les éclairs et la chute des bolides ont offert déjà tant d'exemples.

Maintenant que de récentes expéditions nous permettent d'apprécier à leur juste valeur les récits des pêcheurs du Groenland et des chasseurs de renard

sibériens, on doute que les orages magnétiques, déjà semblables aux orages électriques par la production de la lumière, s'en rapprochent encore par la production du bruit. On dirait vraiment que les aurores boréales sont devenues silencieuses depuis qu'on les observe avec plus de soin. Parry, Franklin et Richardson, au pôle Nord; Thieneman, en Islande; Gieseke, au Groenland; Lottin et Bravais, au cap Nord; Wrangel et Anjou, sur les bords de la mer Glaciale, ont vu des aurores boréales par milliers, sans jamais entendre le plus léger bruit. Veut-on que ces preuves négatives cèdent devant deux affirmations positives, celle de Hearne, à l'embouchure de la rivière de la Mine de Cuivre, et celle de Henderson en Islande? Mais alors, il faudrait oublier que si Hood entendit, pendant l'apparition d'une aurore boréale, une sorte de crépitation, un bruit de balles de fusil vivement secouées ensemble, le jour suivant le même bruit se répéta sans être accompagné cette fois de lumière polaire; il faudrait rejeter l'explication si plausible de Wrangel et de Gieseke, qui attribuaient ces craquements à une subite contraction de la neige durcie ou de la glace, sous l'influence d'un refroidissement brusque de l'atmosphère. Voici d'ailleurs comment la croyance à ces prétendues crépitations de l'aurore boréale a pu s'accréditer, non dans le peuple, il est vrai, mais parmi les voyageurs scientifiques : on assimilait autrefois les aurores boréales aux phénomènes électriques qui se produisent dans un air raréfié comme doit l'être celui des hautes régions de

l'atmosphère ; dès lors chaque bruit devenait, pour l'observateur prévenu, le pétillement de l'étincelle électrique. De nouvelles recherches, exécutées à l'aide d'électroscopes très-sensibles, n'ont donné jusqu'à présent, contre toute attente, que des résultats purement négatifs, car, durant les plus brillantes aurores, l'état électrique de l'atmosphère est resté invariable.

Le magnétisme terrestre au contraire est modifié par l'aurore boréale ; l'intensité, la déclinaison et l'inclinaison sont affectées à la fois. Dans la même nuit, suivant les phases successives de son développement, l'aurore boréale attire ou repousse l'extrémité de l'aiguille aimantée. Parry croyait pouvoir conclure de l'ensemble des observations qu'il avait faites près du pôle magnétique, dans les îles Melville, que les aurores boréales, loin de troubler l'aiguille aimantée, exerçaient plutôt sur elle « une action sédative ; » mais cette opinion est contredite par un examen plus attentif du voyage de Parry lui-même (78), par les belles observations de Richardson, de Hood et de Franklin dans le Haut-Canada, et dernièrement encore par celles de Bravais et de Lottin en Laponie. Nous l'avons déjà dit, la production de la lumière polaire est l'acte par lequel se rétablit un équilibre momentanément troublé ; son effet sur la boussole se règle sur l'intensité de la décharge réparatrice ; si l'aurore boréale est très-faible, si elle s'élève à peine au-dessus de l'horizon, cet effet sera lui-même insensible, et les observateurs de Bo-

sekop eurent plus d'une occasion de s'en assurer pendant leur longue station hibernale. On a comparé avec raison les faisceaux cylindriques des rayons de l'aurore boréale, à la lumière qui se produit dans un circuit voltaïque, entre deux pointes de charbon (ou, suivant Fizeau et Foucault, entre une pointe de charbon et un globule d'argent), lumière qu'un aimant attire ou repousse. Cette analogie rend superflue l'hypothèse de ces vapeurs métalliques en suspension dans l'atmosphère, dont quelques physiciens célèbres ont voulu faire le *substratum* de l'aurore boréale.

En donnant à ces magnifiques apparitions le nom d'aurores boréales, ou le nom moins précis encore de lumières polaires, nous avons seulement voulu désigner ainsi la direction où elles commencent le plus souvent à se produire. Il résulte de ce phénomène, et c'est là ce qui fait sa grande importance, que la Terre est douée de la propriété d'émettre une lumière propre, une lumière distincte de celle que lui envoie le Soleil. L'intensité de la *lumière terrestre*, ou, pour parler plus exactement, la clarté que cette lumière, dans toute sa splendeur, peut répandre à la surface de la Terre, surpasse un peu celle du premier quartier de la Lune. Quelquefois elle est assez forte (7 janvier 1831) pour permettre de lire sans peine des caractères imprimés. Cette lumière de la Terre, dont l'émission ne s'interrompt presque jamais vers les pôles, nous rappelle la lumière de Vénus dont la partie non éclairée par le Soleil brille souvent d'une faible lueur phosphorescente. Peut-être d'autres pla-

nètes (Jupiter), la Lune et même les comètes possèdent-elles aussi une lumière née de leur propre substance, indépendante de celle que le Soleil leur envoie et dont le polariscope constate l'origine. Sans qu'il soit besoin de rappeler ici l'apparence problématique, mais assez commune, de ces nuages peu élevés dont la surface entière brille, pendant plusieurs minutes, d'une lumière tremblante, nous pourrons trouver dans notre atmosphère d'autres exemples à citer de cette production de lumière terrestre. Tels sont les fameux brouillards secs de 1783 et de 1831, qui émettaient une lumière très-sensible pendant la nuit; tels sont ces grands nuages brillant d'une lumière calme, sans ondulation, si souvent remarqués par Rozier et par Beccaria; telle est enfin, d'après une ingénieuse remarque d'Arago, cette lumière diffuse qui guide nos pas au milieu des nuits d'automne ou de printemps, alors que les nuages interceptent toute lumière céleste et que la neige ne couvre point la terre (79). Si les hautes latitudes ont leurs aurores dont les lueurs colorées traversent et éclairent l'atmosphère, les chaudes régions des tropiques ont aussi leur lumière qui brille à la surface de l'Océan, sur une étendue de plusieurs milliers de lieues carrées. Mais ici la lumière est un produit des forces organiques de la nature; les vagues, couronnées d'une écume phosphorescente, s'élèvent, roulent et se brisent comme en une mer de feu; chaque point de l'immense surface est une étincelle et dans chaque étincelle se manifeste la vie animale d'un monde invi-

sible. Telles sont les sources nombreuses de la lumière terrestre. Faut-il admettre que cette lumière est aussi à l'état latent, qu'elle est virtuellement contenue dans certaines vapeurs, afin d'expliquer *la formation à distance des images* de Moser, découverte où la réalité se présente encore à nous comme ces formes mystérieuses qu'on n'aperçoit qu'en rêve?

Si, d'un côté, la chaleur centrale de notre planète se rattache à la production des courants électro-magnétiques et de la lumière terrestre qui naît de ces courants, sous un autre point de vue, elle se présente comme la source principale des phénomènes géognostiques. Nous nous proposons de considérer actuellement ces phénomènes dans leur enchaînement et dans leurs phases diverses, depuis l'ébranlement purement dynamique et le soulèvement des continents ou des chaînes de montagnes, jusqu'à l'éruption des gaz et des vapeurs, des boues chaudes, des roches ignées ou des laves en fusion qui se transforment, par le refroidissement, en roches cristallisées. Ce ne fut pas un mince progrès pour la moderne géognosie (la partie minéralogique de la physique terrestre), que d'avoir constaté cet enchaînement des phénomènes. On a pu renoncer désormais à ces vaines hypothèses qu'on imaginait autrefois pour expliquer une à une les révolutions de l'ancien monde terrestre; on a pu rattacher la production de matières diverses aux simples changements de forme ou d'étendue (*ébranlements* et *sou-*

lèvements) ; on a pu rapprocher et grouper des phénomènes complétement dissemblables au premier coup d'œil, tels que les sources thermales ; les émissions de gaz acide carbonique et de vapeurs sulfureuses, les *salses* (éruptions boueuses), et enfin les éruptions des montagnes ignivomes. Dans un tableau général de la nature, tous ces détails se confondent dans une seule et même conception, celle de *la réaction que l'intérieur d'une planète exerce contre ses couches extérieures.* Une seule cause, l'augmentation graduelle de la chaleur terrestre depuis la surface jusqu'au centre, nous rendra compte à la fois des tremblements de terre, du soulèvement successif des continents et des chaînes de montagnes, des éruptions volcaniques, et de la formation des roches ou des minéraux. Mais cette réaction de l'intérieur contre l'extérieur n'a pas borné son influence à la seule nature inorganique ; tout porte à croire que, dans l'ancien monde, de puissantes émissions de gaz acide carbonique se mêlèrent à l'atmosphère, favorisèrent l'acte par lequel les végétaux s'assimilent le carbone, et formèrent ainsi les forêts primitives, origine de l'inépuisable amas de matières combustibles (lignites et charbon de terre) que les révolutions du globe ont enfoui dans les couches superficielles. Bien plus, on peut dire que la forme de l'écorce terrestre, la direction générale des grandes chaînes de montagnes et des plateaux, la configuration articulée des continents, ont exercé une notable influence sur le sort de l'espèce humaine.

Dans cet enchaînement de phénomènes, le philosophe peut remonter, de terme en terme, jusqu'à l'époque où la matière agglomérée en sphère passa de l'état fluide à l'état liquide ou solide, époque où se développa ainsi la chaleur centrale de la terre, indépendamment de l'action calorifique des rayons solaires.

Afin de suivre, dans le tableau des phénomènes géognostiques, l'ordre même de leur filiation et de leur dépendance originaire, nous commencerons par ceux dont le caractère est surtout dynamique. Les *tremblements de terre* se manifestent par des oscillations verticales, horizontales ou circulaires, qui se suivent et se répètent à de courts intervalles. Les deux premières espèces de secousses sont souvent simultanées; c'est là du moins le résultat des nombreuses observations de ce genre qu'il m'a été donné de faire, sur terre et sur mer, dans les deux parties du monde. L'action verticale de bas en haut a produit à Riobamba, en 1797, l'effet de l'explosion d'une mine; les cadavres d'un grand nombre d'habitants furent lancés au delà du ruisseau de Lican, jusque sur *la Culca*, colline dont la hauteur est de plusieurs centaines de pieds. Ordinairement la secousse se propage en ligne droite ou ondulée, à raison de 4 ou 5 myriamètres par minute; quelquefois elle s'étend à la manière des ondes, et il se forme des cercles de commotion où les secousses se propagent du centre à la circonférence, mais en diminuant d'intensité. Malgré l'assertion du père de l'histoire (80) et de

Theophylactus Simocatta (81) qui croyaient les tremblements de terre inconnus en Scythie, j'ai constaté (82), pendant mon voyage dans l'Asie septentrionale, que la partie méridionale de l'Altaï se trouve sous la double influence du centre d'ébranlement du lac Baïkal et des volcans des montagnes Célestes (Thian-chan). Lorsque les cercles de commotion se coupent, lorsqu'un plateau est situé, par exemple, entre deux volcans actifs, il peut en résulter plusieurs systèmes d'ondes qui se superposent, comme dans les liquides, sans se troubler mutuellement. Il pourrait même y avoir *interférence*, comme dans le cas des ondes sonores qui se croisent. D'après une loi générale de la mécanique, tout mouvement de vibration qui se transmet à travers un corps élastique, tend à en détacher les couches superficielles; en vertu de la même loi, l'onde d'ébranlement doit grandir, en se propageant dans l'écorce terrestre, à mesure qu'elle se rapproche la surface.

Les moyens qu'on a imaginés pour étudier les ondes d'ébranlement (le pendule et la cuvette sismométrique) indiquent avec assez d'exactitude leur direction et leur intensité totale, mais non leur alternance ou leur intumescence périodique. La ville de Quito est située au pied d'un volcan encore en activité (le Rucu-Pichincha), à 2910 mètres audessus du niveau de la mer; elle possède de belles coupoles, des églises élevées, des maisons massives à plusieurs étages, et les tremblements de terre y sont fréquents; mais, à ma grande surprise, je vis rare-

ment ces secousses lézarder les murailles, tandis que, dans les plaines du Pérou, des oscillations beaucoup moins fortes endommagent des chaumières de bambou fort peu élevées. Les indigènes, qui ont ressenti des tremblements de terre par milliers, croient que cette différence tient moins à la durée longue ou courte des secousses, à la lenteur ou à la rapidité (83) de l'oscillation horizontale, qu'à la régularité des mouvements qui se produisent en sens contraires. Les secousses circulaires ou gyratoires sont les plus rares, elles sont aussi les plus dangereuses. Des murs ont été retournés sans être renversés, des allées d'abord rectilignes ont été courbées, des champs couverts de cultures différentes ont glissé les uns sur les autres, lors du grand tremblement de Riobamba, dans la province de Quito, le 4 février 1797; ces singuliers effets s'étaient déjà produits en Calabre, le 5 février et le 28 mars 1783. Ces terrains qui glissent et ces pièces de terre cultivées qui se superposent, prouvent un mouvement général de translation, une sorte de pénétration des couches superficielles; évidemment le sol meuble s'est mis en mouvement comme un liquide, et les courants se sont dirigés d'abord de haut en bas, puis horizontalement, et enfin de bas en haut. Lorsque je levais le plan des ruines de Riobamba, on me montra la place où, au milieu des décombres d'une maison, on avait retrouvé tous les meubles d'une autre demeure; il fallut que l'*audiencia* (le tribunal) prononçât sur les contestations qui s'élevèrent au sujet de

la propriété d'objets qui avaient été transportés ainsi à plusieurs centaines de mètres.

Dans les pays où les tremblements de terre sont relativement plus rares (par exemple, dans l'Europe méridionale), on croit généralement, par suite d'une induction incomplète, que le calme de l'atmosphère, une chaleur accablante, un horizon chargé de vapeurs, sont les avant-coureurs du phénomène (84). C'est une erreur contredite non-seulement par ma propre expérience, mais encore par celle de tous les observateurs qui ont passé plusieurs années dans les contrées où, comme à Cumana, à Quito, au Pérou et au Chili, le sol est souvent agité par de violentes secousses. J'ai ressenti des tremblements de terre par un ciel serein comme pendant la pluie, par un frais vent d'est comme par un temps d'orage. En outre ces phénomènes m'ont paru n'exercer aucune influence sur la marche de l'aiguille aimantée; le jour d'un tremblement de terre, les variations horaires de la déclinaison, et la hauteur du baromètre (85) ne présentent aucune anomalie entre les tropiques. Adolphe Erman a fait la même remarque dans la zone tempérée, à l'occasion d'un tremblement de terre qui se fit ressentir à Irkutsk, près du lac Baïkal (8 mars 1829). Lors de la violente secousse du 4 novembre 1799 à Cumana, je trouvai que la déclinaison et l'intensité de la force magnétique étaient restées à leur état normal; mais, à mon grand étonnement, l'inclinaison de l'aiguille aimantée avait diminué de 48′ (86). Je n'avais aucun motif de soup-

çonner une erreur dans cette observation ; mais pendant les autres secousses que j'ai éprouvées sur le plateau de Quito et de Lima, l'inclinaison resta toujours invariable, de même que les autres éléments du magnétisme terrestre. S'il est généralement vrai que rien, dans l'aspect du ciel ou dans l'état de l'atmosphère, n'annonce à la surface du globe ce qui va se passer dans ses profondeurs, nous verrons cependant tout à l'heure que les couches aériennes pourraient bien être influencées par les fortes secousses, dont l'effet n'est pas toujours purement dynamique. Ainsi l'état électrique de l'atmosphère a subi de notables variations pendant les secousses qui ont agité si longtemps le sol des vallées piémontaises de Pelis et de Clusson.

L'intensité des bruits sourds qui accompagnent presque toujours les tremblements de terre, ne croît pas dans le même rapport que la violence des secousses. Je me suis assuré, par l'étude attentive des diverses phases du tremblement de terre de Riobamba (4 février 1797), l'un des plus terribles événements dont l'histoire physique de notre globe fasse mention, que la grande secousse ne fut signalée par aucun bruit. La détonation formidable (*el gran ruido*) qu'on entendit sous le sol de Quito et d'Ibarra, mais non à Tacunga ni à Hambato, villes pourtant plus rapprochées du centre d'ébranlement, se produisit 18 ou 20 minutes *après* la catastrophe. Un quart d'heure après le célèbre tremblement qui détruisit Lima (28 octobre 1746), on entendit à

Truxillo un coup de tonnerre souterrain, mais sans ressentir de secousse. De même, longtemps après le grand tremblement de terre de la Nouvelle-Grenade (16 novembre 1827) décrit par Boussingault, on entendit dans la vallée de Cauca des détonations souterraines qui se succédaient de 30 en 30 secondes, et toujours sans secousses.

La nature du bruit varie beaucoup : il roule, il gronde, il résonne comme un cliquetis de chaînes entre-choquées; il est saccadé comme les éclats d'un tonnerre voisin, ou bien il retentit avec fracas, comme si des masses d'obsidienne ou de roches vitrifiées se brisaient dans les cavernes souterraines. On sait que les corps solides sont d'excellents conducteurs du son, et que les ondes sonores se propagent dans l'argile cuite dix ou douze fois plus vite que dans l'air : aussi les bruits souterrains peuvent-ils s'entendre à une distance énorme du point où ils se sont produits. A Caracas, dans les plaines de Calabozo et sur les bords du Rio-Apure, l'un des affluents de l'Orénoque, c'est-à-dire sur une étendue de 1300 myriamètres carrés, on entendit une effroyable détonation, sans éprouver de secousse, au moment où un torrent de lave sortait du volcan Saint-Vincent, situé dans les Antilles à une distance de 120 myriamètres. C'est, par rapport à la distance, comme si une éruption du Vésuve se faisait entendre dans le nord de la France. Lors de la grande éruption du Cotopaxi, en 1744, on entendit des détonations souterraines à Honda, sur les bords du Magdalena:

cependant, la distance de ces deux points est de 81 myriamètres, leur différence de niveau est de 5500 mètres, et ils sont séparés par les masses colossales des montagnes de Quito, de Pasto et de Popayan, par des vallées et des ravins sans nombre. Évidemment le son ne fut pas transmis par l'air ; il se propagea dans la terre, à une grande profondeur. Le jour du violent tremblement de terre de la Nouvelle-Grenade, en février 1835, les mêmes phénomènes se reproduisirent à Popayan, à Bogota, à Santa-Marta et dans le Caracas, où le bruit dura sept heures entières, sans secousses, à Haïti, à la Jamaïque et sur les bords du lac de Nicaragua.

Bien qu'ils ne soient pas accompagnés de secousses, ces bruits souterrains produisent toujours une impression profonde, même sur ceux qui ont longtemps habité un sol sujet à de fréquents ébranlements ; on attend avec anxiété ce qui doit suivre ces grondements intérieurs. Tels furent les *bramidos y truenos subterraneos* (mugissements et tonnerres souterrains) de Guanaxato, riche et célèbre ville mexicaine située loin de tous les volcans actifs (87). Ces bruits commencèrent le 9 janvier 1784, à minuit, et durèrent plus d'un mois. J'ai donné une relation très-circonstanciée de ce phénomène remarquable, d'après les documents que la municipalité de la ville avait mis à ma disposition et les récits d'une foule de témoins. Du 13 au 16 janvier, on eût dit un orage souterrain ; on entendait les éclats secs et brefs de la foudre, alternant avec les longs roulements d'un tonnerre

éloigné. Le bruit cessa comme il avait commencé, c'est-à-dire graduellement. Il était limité dans un faible espace; à quelques myriamètres de là, sur un terrain basaltique, on ne l'entendait plus. Presque tous les habitants furent frappés d'épouvante; ils quittèrent la ville où de grandes quantités d'argent en barres se trouvaient amassées, et il fallut que les plus courageux revinssent ensuite disputer ces trésors aux brigands qui s'en étaient emparés. Pendant toute la durée de ce phénomène, on ne ressentit aucune secousse, ni à la surface, ni même dans les mines voisines, à 500 mètres de profondeur. Jamais, avant cette époque, on n'avait entendu pareil bruit au Mexique, et jamais il ne s'y est répété depuis. Ne dirait-on pas que des cavernes peuvent s'ouvrir ou se fermer subitement dans les entrailles de la terre, et donner ou refuser accès aux ondes sonores que des accidents auront fait naître au loin?

Quelque formidable que soit, pour le spectateur, l'éruption d'un volcan, elle est cependant toujours circonscrite dans d'étroites limites. Il n'en est pas ainsi des tremblements de terre : c'est à peine si l'œil distingue les oscillations du sol, mais leurs ravages peuvent s'étendre sur des milliers de lieues. Dans les Alpes, sur les côtes de la Suède, aux Antilles, au Canada, en Thuringe, et jusque dans les marais du littoral de la Baltique, on a ressenti les secousses du tremblement de terre qui a détruit Lisbonne le 1er novembre 1755. Des rivières éloignées furent détournées de leur cours; phénomène déjà signalé dans

l'antiquité par Demetrius de Callatie. Les sources thermales de Tœplitz tarirent d'abord, puis elles revinrent colorées par des ocres ferrugineuses, et inondèrent la ville. A Cadix, les eaux de la mer s'élevèrent à 20 mètres au-dessus de leur niveau ordinaire; dans les petites Antilles, où la marée n'est guère que de 70 à 75 centimètres, les flots montèrent, noirs comme de l'encre, à une hauteur de plus de 7 mètres. On a calculé que les secousses se firent sentir, dans cette fatale journée, sur une étendue de pays quatre fois plus grande que celle de l'Europe. Aucune force destructive, sans excepter notre plus meurtrière invention, n'est capable de faire périr autant d'hommes à la fois, dans un espace de temps aussi court : en quelques minutes, ou même en quelques secondes, soixante mille hommes périrent en Sicile, l'an 1693; trente ou quarante mille dans le tremblement de terre de Riobamba, en 1797; peut-être cinq fois autant dans l'Asie Mineure et en Syrie, sous Tibère et sous Justin l'Ancien, vers les années 19 et 526.

Il n'est pas rare de voir, dans la chaîne des Andes de l'Amérique du Sud, des tremblements de terre se prolonger sans interruption pendant plusieurs jours. Quant à ceux qui se font sentir, à peu près à chaque heure, pendant des mois entiers, je n'en connais d'exemple que dans des lieux éloignés de tout volcan actif, savoir : sur le versant oriental du Mont-Cenis, à Fenestrelle et à Pigneroles, depuis le mois d'avril 1808; aux États-Unis de l'Amérique du Nord, entre New-Madrid et Little-Prairie (88), au nord de

Cincinnati, en décembre 1811, et pendant l'hiver entier de 1812; enfin, dans le pachalik d'Alep, vers les mois d'août et de septembre 1822. En général, le peuple n'a que des notions fort restreintes sur les grands phénomènes de la nature; il les attribue toujours à des causes locales, et partout où les secousses se prolongent, il redoute aussitôt la formation d'un volcan. Il est bien rare que l'événement justifie cette crainte; tel fut pourtant le cas du volcan de Jorullo, qui, après quatre-vingt-dix jours de secousses et de tonnerres souterrains, surgit tout à coup au milieu de la plaine, jusqu'à la hauteur de 510 mètres (le 29 septembre 1759).

Si l'on pouvait avoir des nouvelles de l'état journalier de la surface terrestre tout entière, on serait probablement bientôt convaincu que cette surface est toujours agitée par des secousses, en quelques-uns de ses points, et qu'elle est incessamment soumise à la réaction de la masse intérieure. Quand on considère la fréquence et l'universalité de ce phénomène, provoqué sans doute par la haute température et par l'état de fusion des couches inférieures, on comprend qu'il soit indépendant de la nature du sol où il se manifeste. Même dans les terrains d'alluvion si meubles de la Hollande, vers Middelbourg et Flessingue, on a ressenti des tremblements de terre. Ils se produisent dans le granit comme dans le micaschiste, dans le calcaire comme dans le grès, dans le trachyte comme dans l'amygdaloïde. Ce n'est pas la constitution chimique des roches, c'est leur structure

mécanique qui influe sur la propagation de la secousse ou des ondes d'ébranlement. Lorsque ces ondes suivent une côte, ou lorsqu'elles se meuvent au pied et dans la direction d'une chaîne de montagnes, elles paraissent quelquefois s'interrompre en certains endroits, et cela, depuis des siècles ; l'ébranlement n'a pas cessé pourtant : il s'est propagé dans l'intérieur de la terre, sans jamais se faire sentir dans ces points de la surface. Les Péruviens disent de ces couches supérieures où l'on ne sent jamais d'ébranlement, « qu'elles forment un pont (89). » Comme les chaînes de montagnes paraissent avoir été soulevées sur de longues failles, il est probable que les parois de ces fissures favorisent la propagation des ondes qui se meuvent dans leur direction. Cependant les ondes d'ébranlement se propagent quelquefois dans une direction perpendiculaire à celle de plusieurs chaînes parallèles. C'est ainsi que nous les voyons traverser à la fois la Cordilière du littoral de Venezuela et la Sierra-Parime. En Asie, les tremblements de terre se sont propagés (22 janvier 1832) de Lahore et du pied de l'Himalaya, à travers la chaîne de l'Hindou-Kho, jusqu'à Badakschan, jusqu'à l'Oxus supérieur, et même jusqu'à Bokhara (90). Il arrive aussi que les cercles d'ébranlement gagnent du terrain : il suffit, pour cela, d'un seul tremblement de terre plus violent que les autres. Depuis la destruction de Cumana (14 septembre 1797), et seulement depuis cette époque, la presqu'île de Maniquarez, située en face des collines calcaires du continent, éprouve, dans ses

couches de micaschiste, toutes les secousses de la côte méridionale. Les secousses qui agitèrent presque sans interruption, de 1811 à 1813, le sol des vallées du Mississipi, de l'Arkansas et de l'Ohio, allaient en gagnant vers le nord d'une manière frappante. On dirait des obstacles souterrains successivement renversés; dès que la voie est libre, le mouvement ondulatoire s'y propage chaque fois qu'il se produit.

Si, au premier aspect, les tremblements de terre paraissent produire des effets purement dynamiques, en étudiant les faits les mieux constatés on reconnaît bientôt qu'ils ne se bornent pas à soulever, au-dessus de leur ancien niveau, des pays entiers, tels que la côte du Chili, en novembre 1822, et Ulla-Bund, en juin 1819, après le tremblement de terre de Cuth; ils font naître aussi des éruptions d'eau chaude (à Catane, 1818), de vapeurs aqueuses (dans la vallée du Mississipi, près de New-Madrid, 1812), de mofettes, si nuisibles aux troupeaux qui paissent sur les Andes, de boue, de fumées noires et même de flammes (à Messine, 1783, et à Cumana, 1797). Pendant le grand tremblement de terre qui détruisit Lisbonne, le 1er novembre 1755, on vit des flammes et une colonne de fumée sortir, près de la ville, d'une crevasse nouvellement formée dans le rocher d'Alvidras; plus les détonations souterraines devenaient intenses, et plus cette fumée s'épaississait (91). Il n'y eut aucune éruption pendant la catastrophe de Riobamba, malgré le voisinage de plusieurs montagnes volcaniques; mais il sortait du sein de la terre

un grand nombre d'éminences coniques, formés d'une matière que les indigènes nomment *moya :* composé singulier de charbon, de cristaux d'augite et de carapaces siliceuses d'infusoires. Une grande quantité de gaz acide carbonique qui sortit des crevasses, pendant le tremblement de terre de la Nouvelle-Grenade (16 novembre 1827) dans la vallée du Magdalena, asphyxia une multitude de serpents, de rats et d'autres animaux qui vivaient dans les cavernes. Enfin, de violentes secousses ont occasionné, au Pérou et dans la province de Quito, des changements brusques de température et l'invasion subite de la saison des pluies avant l'époque où elle arrive ordinairement sous les tropiques. On ne sait s'il faut attribuer ces phénomènes aux vapeurs qui sortirent des entrailles de la terre et se mêlèrent à l'atmosphère, ou à une perturbation que les secousses auraient déterminée dans l'état électrique des couches aériennes. Dans les régions intertropicales de l'Amérique, dix mois entiers se passent quelquefois sans qu'il tombe du ciel une seule goutte d'eau, et les indigènes regardent les tremblements de terre qui se répètent souvent, sans nuire à leurs huttes de bambous, comme d'heureux avant-coureurs de pluies fécondantes.

L'origine commune des phénomènes que nous venons de décrire est encore entourée d'obscurité. Sans doute il faut attribuer à la réaction des vapeurs soumises à une pression énorme, dans l'intérieur de la terre, toutes les secousses qui en agitent la

surface, depuis les explosions les plus formidables jusqu'à ces faibles secousses, nullement dangereuses, qu'on ressentit, pendant plusieurs jours, à Scaccia en Sicile, avant le soulèvement volcanique de la nouvelle île de Julia; il est évident que le foyer où ces forces destructives naissent et se développent est situé au-dessous de l'écorce terrestre; mais à quelle profondeur? nous l'ignorons, tout comme nous ignorons la nature chimique de ces vapeurs si violemment comprimées. Lorsque j'étais en observation sur les bords du Vésuve ou sur le rocher qui s'élève comme une tour au-dessus du cratère du Pichincha, je ressentais constamment les secousses 20 ou 30 secondes avant l'éruption des vapeurs ou des scories incandescentes; plus les explosions étaient tardives, et plus les secousses étaient fortes, parce que les vapeurs s'étaient alors accumulées en plus grande quantité. C'est dans cette remarque, si simple et si souvent confirmée par l'expérience de tous les voyageurs, que se trouve l'explication générale du phénomène. Les volcans actifs doivent être regardés comme des soupapes de sûreté pour les contrées voisines. Si l'ouverture du volcan se bouche, si la communication de l'intérieur avec l'atmosphère se trouve interrompue, le danger augmente, les contrées voisines sont menacées de secousses prochaines. Cependant les plus forts tremblements de terre ne se produisent pas, en général, auprès des volcans en activité, témoin ceux qui ont amené la destruction de Lisbonne, de Caracas, de Lima, de Cachemir (92), et d'un

nombre considérable de villes en Calabre, en Syrie et dans l'Asie Mineure.

Si l'activité des volcans, lorsqu'elle ne trouve pas d'issue, réagit sur le sol et provoque des tremblements de terre, ceux-ci réagissent à leur tour sur les phénomènes volcaniques. Les fissures aident à la formation des cratères d'éruption; elles favorisent les réactions chimiques que le contact de l'air engendre dans ces cratères. Une colonne de fumée que l'on voyait sortir du volcan de Pasto, dans l'Amérique du Sud, disparut subitement, le 4 février 1797, pendant le grand tremblement de terre qui détruisit Riobamba, 36 myriamètres plus loin vers le sud. Des tremblements de terre qui se faisaient ressentir dans toute la Syrie, dans les Cyclades et en Eubée, cessèrent tout d'un coup, au moment même où un torrent de matières ignées jaillissait dans les plaines de Chalcis (93). En rapportant ce fait, le célèbre géographe d'Amasea ajoute: « Depuis que les bouches de l'Etna sont ouvertes et qu'elles vomissent le feu, depuis que des masses d'eau et de laves en fusion peuvent être rejetées au dehors, le littoral est moins sujet aux tremblements de terre qu'à l'époque où, avant la séparation de la Sicile et de l'Italie inférieure, toutes les issues étaient bouchées. »

Ainsi la puissance volcanique intervient dans les tremblements de terre; mais cette puissance, universellement répandue comme la chaleur centrale de la planète, s'élève rarement et seulement en quelques points isolés, jusqu'à produire des phénomènes

d'éruption. Les masses liquéfiées de basalte, de mélaphyre et de grunstein qui surgissent de l'intérieur, remplissent peu à peu les fissures et finissent par fermer toute issue aux vapeurs. Alors ces vapeurs s'accumulent, leur tension s'accroît, et leur réaction contre l'écorce terrestre peut s'exercer de trois manières différentes : elles ébranlent le sol, ou elles le soulèvent brusquement, ou elles font varier lentement la différence de niveau entre les continents et les mers. Cette dernière action ne devient sensible qu'après de longues années ; elle a été observée, pour la première fois, sur une étendue considérable de la Suède.

Avant de quitter ce grand phénomène, que nous avons considéré bien moins dans ses détails que dans ses rapports généraux avec la physique du globe, je dois encore signaler l'origine de l'impression profonde, de l'effet tout particulier qu'un premier tremblement de terre produit sur nous, même quand il n'est accompagné d'aucun bruit souterrain. Cette impression ne provient pas, à mon avis, de ce que les images des catastrophes dont l'histoire a conservé le souvenir, s'offrent alors en foule à notre imagination. Ce qui nous saisit, c'est que nous perdons tout à coup notre confiance innée dans la stabilité du sol. Dès notre enfance, nous étions habitués au contraste de la mobilité de l'eau avec l'immobilité de la terre. Tous les témoignages de nos sens avaient fortifié notre sécurité. Le sol vient-il à trembler, ce moment suffit pour détruire l'expérience de toute la vie. C'est

une puissance inconnue qui se révèle tout à coup; le calme de la nature n'était qu'une illusion, et nous nous sentons rejetés violemment dans un chaos de forces destructives. Alors chaque bruit, chaque souffle d'air excite l'attention; on se défie surtout du sol sur lequel on marche. Les animaux, principalement les porcs et les chiens, éprouvent cette angoisse; les crocodiles de l'Orénoque, d'ordinaire aussi muets que nos petits lézards, fuient le lit ébranlé du fleuve et courent en rugissant vers la forêt.

Un tremblement de terre se présente à l'homme comme un danger indéfinissable, mais partout menaçant. On peut s'éloigner d'un volcan, on peut éviter un torrent de lave, mais quand la terre tremble, où fuir? partout on croit marcher sur un foyer de destruction. Heureusement les ressorts de notre âme ne peuvent rester ainsi tendus pendant bien longtemps, et ceux qui habitent un pays où les secousses sont faibles et se suivent à de courts intervalles, éprouvent à peine un sentiment de crainte. Sur les côtes du Pérou, le ciel est toujours serein; on n'y connaît ni la grêle, ni les orages, ni les redoutables explosions de la foudre; le tonnerre souterrain qui accompagne les secousses du sol, y remplace le tonnerre des nuées. Grâce à une longue habitude et à l'opinion très-répandue qu'il y a seulement deux ou trois secousses désastreuses à craindre par siècle, les tremblements de terre n'inquiètent guère plus à Lima que la chute de la grêle dans la zone tempérée.

Après avoir considéré la terre comme source de

chaleur, de courants électro-magnétiques, de la lumière des aurores polaires, et des mouvements irréguliers qui agitent sa surface, il nous reste à décrire les produits matériels des forces qui animent notre planète, et les modifications chimiques dont ses couches supérieures et l'atmosphère elle-même sont le théâtre. Nous voyons jaillir du sol des vapeurs aqueuses, des effluves de gaz acide carbonique, presque toujours sans mélange d'azote (94); du gaz hydrogène sulfuré, des vapeurs sulfureuses, plus rarement des vapeurs d'acide sulfureux ou d'acide hydrochlorique (95); enfin du gaz hydrogène carboné, dont on se sert, depuis des milliers d'années, dans la province chinoise de Sse-tchuan (96), pour l'éclairage et le chauffage, et qu'on vient d'appliquer tout récemment aux mêmes usages dans les États-Unis d'Amérique, à Frédonia, petite ville de l'État de New-York. Les fissures d'où s'échappent ces gaz et ces vapeurs ne se présentent pas seulement dans le voisinage des volcans; on les rencontre aussi dans des contrées où manquent le trachyte et les autres roches volcaniques. Dans la cordilière de Quindiu, à 2080 mètres au-dessus du niveau de la mer, j'ai vu de chaudes vapeurs sulfureuses déposer du soufre dans le micaschiste (97), et au sud de Quito, près de Ticsan, dans le Cerro-Cuello, cette même roche, qu'on regardait naguère comme une roche primitive, renferme un énorme lit de soufre au milieu du quartz pur.

De toutes ces émanations gazéiformes, les plus nombreuses et les plus abondantes sont celles d'a-

cide carbonique qu'on nomme aussi *mofettes*. Dans les contrées volcaniques, comme sont, en Allemagne, la vallée profondément ravinée de l'Eifel, les environs du lac Lach, le cirque de Wehr et la Bohême occidentale, les émissions d'acide carbonique apparaissent comme un dernier effort de l'activité volcanique. Aux époques antérieures, la chaleur plus forte du globe terrestre et le nombre considérable de failles que les roches ignées n'avaient pas encore comblées, favorisèrent puissamment ces émissions, de grandes quantités de vapeurs d'eau chaude et de gaz acide carbonique se mêlèrent à l'atmosphère et produisirent, sous presque toutes les latitudes, cette végétation exubérante, cette plénitude de développement organique dont Adolphe Brongniart a tracé le tableau (98). Dans les régions toujours chaudes, toujours humides de cette atmosphère surchargée de gaz acide carbonique, les végétaux rencontrèrent des conditions si favorables à leur développement et une abondance telle de substances propres à leur nutrition, qu'ils purent former les matériaux des couches de charbon de terre et de lignites, sources presque inépuisables de force physique et de bien-être pour les nations. Ces lits de combustibles sont principalement répartis en bassins que la nature semble avoir spécialement accordés à certaines contrées de l'Europe, telles que les Iles Britanniques, la Belgique, la France, les provinces Rhénanes inférieures et la Silésie supérieure. L'énorme quantité d'acide carbonique dont la combinaison avec la chaux a produit les roches cal-

caires, et dont le carbone seul contribue, pour un huitième environ, à former ces couches puissantes (99), sortit alors du sein de la terre, sous l'influence prédominante des forces volcaniques. Ce que les terres alcalines ne purent absorber, se répandit dans l'atmosphère, où les végétaux de l'ancien monde puisèrent incessamment; l'air, ainsi purifié par le développement de la vie végétale, ne contient plus aujourd'hui qu'une proportion de gaz acide carbonique extrêmement faible et sans influence délétère sur les organisations animales du monde actuel. Alors aussi, d'abondantes émissions d'acide sulfurique en vapeurs ont amené la destruction des mollusques et des poissons, dont les nombreuses espèces habitaient les eaux de l'ancien monde; elles ont formé les couches de gypse contournées en tous sens, et soumises alors, sans aucun doute, à de fréquentes secousses.

Des causes physiques analogues font jaillir encore aujourd'hui, du sein de la terre, des gaz, des liquides, de la vase et des laves fondues; celles-ci sortent des cratères d'éruption qu'on peut considérer comme des espèces de sources intermittentes (100). Toutes ces matières doivent leur température et leur constitution chimique aux lieux mêmes d'où elles surgissent. La chaleur moyenne des sources est inférieure à celle de l'atmosphère, quand leurs eaux descendent des hauteurs. Leur chaleur augmente avec la profondeur des couches qu'elles traversent; nous avons déjà indiqué la loi numérique de cette progression. Les eaux

qui proviennent du haut des montagnes, peuvent se mélanger à celles de l'intérieur de la terre : il en résulte que la température des sources ne donne pas toujours avec exactitude la position des lignes *isogéothermes* [lignes d'égale température interne de la Terre] (1); nous avons eu plus d'une occasion d'en faire la remarque dans l'Asie septentrionale, mes compagnons de voyage et moi. La température des sources, dont les physiciens se sont tant occupés depuis un demi-siècle, est, comme la limite des neiges éternelles, le produit de causes très-complexes et très-nombreuses. Elle est fonction de la température de la couche terrestre où elle jaillit, de la chaleur spécifique du sol, enfin, de la quantité et de la température des eaux pluviales (2); or, ce dernier élément diffère essentiellement de la température des couches inférieures de l'atmosphère (3).

Pour que les sources froides puissent donner fidèlement la température moyenne, il faut qu'elles soient pures de tout mélange avec les eaux qui descendent des hauteurs, ou avec celles qui viennent des couches très-profondes; elles doivent, en outre, parcourir un long trajet souterrain, à une profondeur constante de 13 à 19 mètres, dans nos climats, et de 1 pied seulement, d'après Boussingault, dans les contrées équinoxiales (4). En effet, les couches dont nous venons d'indiquer la profondeur sont, dans ces régions diverses, celles où la température commence à être constante; en d'autres termes, ce sont les couches où les variations horaires, diurnes ou même men-

suelles de l'atmosphère cessent de se faire sentir.

On rencontre des sources thermales dans toute espèce de terrain, et même les sources permanentes les plus chaudes ont été trouvées loin des volcans. J'en vais citer ici deux exemples que j'extrais de mes journaux de voyage : ce sont les *Aguas calientes de las Trincheras* dans l'Amérique du Sud, entre Porto Cabello et Nueva Valencia, et les *Aguas de Comangillas*, près de Guanaxuato, dans l'empire du Mexique. Les premières sortent du granit ; elles avaient 90°,3 ; les secondes sortent du basalte, et marquaient 96°,4. D'après ce que nous savons sur l'accroissement de la chaleur dans l'intérieur de la terre, les couches où ces eaux ont acquis une température si élevée doivent être situées à une profondeur de 2200 mètres. Si la chaleur interne de la terre est la cause générale qui produit les sources chaudes, les roches que celles-ci traversent ne peuvent en modifier la température qu'en vertu de leur perméabilité ou de leur capacité pour la chaleur. Les plus chaudes de toutes les sources permanentes, celles dont la température est de 95° ou de 97°, sont aussi les plus pures et les moins chargées de matières minérales en dissolution ; leur chaleur paraît être moins constante que celle des sources comprises entre 50° et 74°. L'invariabilité de celles-ci, sous le rapport de la température et de la composition chimique, s'est maintenue d'une manière bien remarquable, du moins en Europe, depuis cinquante ou soixante ans, c'est-à-dire depuis que l'exactitude de nos mesures thermomé-

triques et de nos analyses a permis de la constater. Boussingault a trouvé que les thermes de Las Trincheras ont varié de 7° environ en vingt-trois ans; leur température a monté de 90°,3 à 97°, depuis mon voyage, en 1800, jusqu'en 1823, époque de celui de Boussingault (5). Cette source, dont les eaux coulent avec la plus grande régularité, est donc maintenant d'environ 7° plus chaude que les sources intermittentes du Geyser et du Strokr, récemment étudiées avec un soin extrême par Krug de Nidda. L'apparition subite du Jorullo, volcan nouveau dont l'existence était inconnue avant mon voyage en Amérique, a montré comment les sources d'eau chaude peuvent provenir des eaux pluviales qui tombent dans l'intérieur de la terre, pour reparaître plus loin, après avoir été en contact avec un foyer volcanique. Lorsque le Jorullo s'éleva tout à coup, en septembre 1759, à 513 mètres au-dessus des plaines environnantes, deux petits ruisseaux, Rios de Cuitimba y de San Pedro, disparurent à la fois : quelque temps après, de fortes secousses leur ouvrirent une issue et ils reparurent sous forme de sources thermales. En 1803, je mesurai leur température : elle était de 65°,8.

Il est certain que les sources de la Grèce coulent actuellement aux lieux mêmes où elles coulaient dans les temps helléniques. La source d'Érasinos, située à deux heures de marche au sud d'Argos, sur le versant du Chaon, a été citée par Hérodote. A Delphes, on voit encore la Cassotis (maintenant la fontaine de

Saint-Nicolas) qui sort de la terre au sud de Lesché, et qui traverse le temple d'Apollon ; la Castalie coule toujours au pied du Parnasse, et le Pirène près de l'Acrocorinthe ; les thermes d'Ædepse, où Sylla se baignait pendant la guerre de Mithridate, existent encore aujourd'hui en Eubée (6). Je cite volontiers ces détails : ils montrent que dans ce pays si souvent agité par de violents tremblements de terre, les couches intérieures ont conservé, au moins depuis deux mille ans, leur forme primitive et jusqu'aux petites fissures d'où s'épanchent les eaux de ces sources. La *Fontaine jaillissante* de Lillers, département du Pas-de-Calais, fut forée vers l'an 1126 ; depuis cette époque, elle a coulé sans interruption à la même hauteur et avec la même abondance. Enfin l'habile géographe des côtes de la Caramanie, le capitaine Beaufort, a vu briller, près de l'ancienne Phaselis, les flammes volcaniques que Pline a décrites comme des flammes vomies par la Chimère de Lycie (7).

En faisant remarquer, dès 1821, que plus les puits artésiens sont profonds et plus les eaux en sont chaudes, Arago a singulièrement éclairci la théorie des sources thermales ; cette observation ouvre une voie nouvelle aux recherches qui ont pour but de fixer la loi du décroissement de la chaleur interne du globe (8). On a reconnu, dans ces derniers temps, que saint Patrice (9), évêque de Pertusa, s'était formé une idée fort juste de ces phénomènes, vers la fin du troisième siècle, par l'examen des sources d'eau chaude de Carthage. On lui demandait quelle pouvait être

l'origine de ces eaux bouillantes qui jaillissent du sein de la terre, et il répondit: «Non-seulement les nuages, mais encore les profondeurs de la terre contiennent du feu, ainsi que vous le démontrent l'Etna et une autre montagne des environs de Naples. Les eaux souterraines montent par des espèces de siphons; les eaux qui coulent loin du feu intérieur apparaissent froides; celles dont la source est voisine de ce feu sont échauffées, et arrivent à la surface de la terre que nous habitons avec une chaleur insupportable.»

Puisque les tremblements de terre sont souvent accompagnés d'émission d'eau et de vapeurs, on peut considérer les *salses* ou petits volcans de boue, comme formant la transition des jets de vapeur et des sources thermales aux redoutables éruptions des monts ignivomes. En effet si les volcans, ces sources irrégulières de matières fondues, donnent naissance aux roches volcaniques, de leur côté, les sources thermales, dont les eaux sont chargées d'acide carbonique et de gaz sulfureux, produisent par voie de dépôt, d'une manière lente mais continue, des couches de travertin horizontalement superposées; ou bien elles forment des monticules coniques, en Algérie, par exemple, et dans les Baños de Caxamarca, sur le versant occidental des Cordillères péruviennes. Charles Darwin a trouvé des restes d'une végétation primitive dans le travertin de la terre de Van-Diémen, près d'Hobart-Town. Nous avons cité ces deux roches, la lave et le travertin, dont la production se

continue encore sous nos yeux, afin de signaler les deux extrêmes des formations géologiques.

Les *salses*, ou volcans de boue, me paraissent mériter plus d'attention que les géologues n'ont coutume de leur en accorder. On a méconnu la grandeur de ce phénomène, parce que, des deux phases qu'il présente, la dernière, c'est-à-dire la période de calme où les salses persistent pendant des siècles, est la seule dont on se soit occupé. L'apparition des salses est accompagnée de tremblements de terre, de tonnerres souterrains, du soulèvement de contrées entières, et de jets de flammes très-élevés, mais de courte durée. Lorsque la salse de Jokmali se forma, le 27 novembre 1827, dans la presqu'île d'Abscheron, à l'orient de Bakou (mer Caspienne), les flammes s'élancèrent à une hauteur extraordinaire; ce phénomène dura trois heures. Pendant les vingt heures suivantes, elles s'élevèrent à peine à un mètre au-dessus du cratère d'où la boue s'épanchait. Près du village de Baklichi, à l'ouest de Bakou, la colonne de flamme fut si haute, qu'on l'apercevait à une distance de 4 ou 5 myriamètres. D'énormes blocs de pierre, arrachés sans doute à de grandes profondeurs, furent lancés au loin. On retrouve des blocs de ce genre aux alentours de la salse, aujourd'hui si calme, du mont Xibio, près de Sassuolo, dans l'Italie septentrionale. Depuis quinze siècles, la salse sicilienne de Girgenti (Macalubi), dont les anciens nous ont laissé une description, se maintient dans la seconde période de son activité. Cette salse se compose de monticules coniques disposés par

rangées, hauts de 2, de 3 et même de 30 mètres; leur hauteur est variable, ainsi que leur forme. Le bassin supérieur est fort petit et rempli d'eau; il en coule des torrents de fange argileuse, accompagnés de dégagements périodiques de gaz. Ordinairement ces boues sont froides; quelquefois elles sont chaudes, par exemple dans l'île de Java, à Damak, province de Samarang. Les éruptions gazéiformes, accompagnées de bruit, sont aussi de nature variable : on y a trouvé de l'hydrogène mêlé à des vapeurs de naphte, du gaz acide carbonique, et même de l'azote presque pur (10). L'existence de ce dernier gaz a été constatée par Parrot, dans la presqu'île de Taman, et par moi, dans les volcancitos de Turbaco (Amérique du Sud).

L'apparition des volcans de boue offre toujours un caractère de violence, quoiqu'il n'y ait peut-être pas deux phénomènes de ce genre qui l'offrent au même degré; après cette première éruption accompagnée de flammes, ils présentent à l'observateur l'image d'une activité intérieure du globe terrestre, faible, il est vrai, mais continuelle et gagnant toujours du terrain. La communication avec les couches profondes, où règne une forte chaleur, est bientôt interrompue, et les éruptions de boues froides montrent que le siége du phénomène, dès qu'il est parvenu à sa deuxième phase, n'est peut-être pas très-éloigné de la surface. La réaction de l'intérieur du globe contre son écorce extérieure se manifeste avec une tout autre puissance dans les volcans proprement dits, c'est-à-dire dans

ces points où il existe une communication, soit permanente, soit périodiquement renouvelée, avec un foyer situé à une grande profondeur. Il faut distinguer soigneusement entre les effets volcaniques plus ou moins prononcés, tels que les tremblements de terre, les sources d'eau chaude ou de vapeurs, les volcans de boue, l'érection de montagnes de trachyte en forme de dôme ou de cloche, mais sans excavation, la formation d'une ouverture au sommet de ces montagnes, ou celle d'un cratère de soulèvement dans les terrains basaltiques, l'apparition finale d'un volcan permanent dans le cratère même de soulèvement, ou au milieu des débris de son échafaudage primitif. A des époques différentes et suivant les degrés divers de leur activité ou de leur puissance, les volcans permanents émettent des vapeurs aqueuses ou acides, des scories incandescentes, et, quand les résistances sont vaincues, d'étroites coulées de lave fondue sous forme de longs ruisseaux de feu.

La réaction de l'intérieur de notre planète s'est encore manifestée avec une grande énergie, mais d'une manière locale, lorsque des portions isolées de la croûte terrestre ont été soulevées, par les vapeurs élastiques, en dômes arrondis de trachyte feldspathique et de dolérite (Puy-de-Dôme et Chimborazo); ou lorsque les couches, pressées de bas en haut, ont été brisées, puis relevées extérieurement de manière à produire un escarpement intérieur et à former ainsi l'enceinte d'un cratère de soulèvement. Si ce phénomène s'est produit au fond de la mer, ce qui n'est

nullement le cas général, le cratère de soulèvement offre alors l'aspect d'une île volcanique. C'est ainsi que s'est formé le cirque de Nisyros, dans la mer Égée (11), et celui de Palma, dont Léopold de Buch a donné une savante description. Il arrive parfois qu'une moitié de l'enceinte est détruite, et que la mer y creuse des bassins où des familles de coraux élèvent leurs demeures cellulaires. Même sur les continents, les cratères de soulèvement sont souvent remplis d'eau; ils donnent alors aux paysages un caractère particulier et un aspect éminemment pittoresque. Leur formation est indépendante de la nature des terrains; ils se produisent également dans le basalte, dans le trachyte, dans le porphyre leucitique (Somma), ou dans les mélanges d'augite et de labrador, analogues à la dolérite. C'est là ce qui donne aux bords des cratères une si grande variété d'aspect. «Ces enceintes ne présentent aucune apparence d'éruption; il ne s'y est point ouvert de communication permanente avec un foyer souterrain, et il est rare de trouver, soit dans l'intérieur, soit dans le voisinage de ces cratères, des traces d'une activité volcanique encore existante. La puissance qui a produit des effets aussi considérables a dû être longtemps accumulée et renforcée dans l'intérieur, avant d'avoir pu vaincre la résistance qu'opposait la pression de la masse supérieure, et d'avoir pu soulever, par exemple, de nouvelles îles au-dessus du niveau de la mer, en brisant des roches à texture grenue et des conglomérats (couches de tuf contenant des plantes marines). Les vapeurs fortement comprimées

s'échappent par ces cratères de soulèvement, mais l'énorme masse ainsi soulevée retombe et referme aussitôt l'ouverture qui n'a pu se former, un moment, que par un tel effort; il ne se produit pas de volcan (12). »

Un volcan proprement dit n'existe que là où il s'est formé une communication permanente de l'intérieur du globe terrestre avec l'atmosphère. Alors la réaction de l'intérieur contre la surface procède par longues périodes. Elle peut, comme ce fut autrefois le cas du Vésuve [Fisove] (13), s'interrompre pendant des siècles, et se reproduire ensuite avec une énergie nouvelle. A Rome, on penchait déjà, du temps de Néron, à classer l'Etna parmi les volcans qui s'éteignent peu à peu (14); plus tard, Ælien affirmait que le sommet s'affaissait et que les navigateurs ne pouvaient plus l'apercevoir d'aussi loin qu'autrefois (15). Si les traces de la première éruption subsistent, si l'échafaudage primitif, qu'on me permette d'employer ce mot, s'est conservé intact, on voit le volcan s'élever au centre d'un cratère de soulèvement; le cône d'éruption est entouré d'un rempart circulaire de roches dont les assises ont été fortement relevées. Quelquefois, on retrouve à peine quelques vestiges de l'enceinte qui a formé d'abord cette espèce de cirque, et le volcan, dont la forme n'est pas toujours circulaire, s'élève immédiatement au-dessus d'un plateau, comme une croupe allongée; tel est le Pichincha, au pied duquel est bâtie la ville de Quito.

De même que la nature des roches, c'est-à-dire le mélange ou l'association des espèces minérales

simples qui se réunissent pour former le granit, le gneiss et le micaschiste, ou le trachyte, le basalte et la dolérite, est complétement indépendante de nos climats actuels et reste identique sous toutes les latitudes, de même nous voyons partout les mêmes lois présider à l'ordre de superposition de couches dont se compose l'écorce terrestre, à leurs pénétrations mutuelles, et aux effets de leur soulèvement. C'est surtout à l'aspect des volcans que l'on est frappé de cette identité générale de forme et de structure. Lorsque le navigateur, éloigné de sa patrie, est parvenu sous d'autres cieux où des étoiles inconnues ont remplacé les constellations accoutumées, il voit, dans les îles des mers lointaines, des palmiers, des arbustes nouveaux pour lui, et les formes étranges d'une flore exotique; mais la nature inorganique lui offre encore des sites qui lui rappellent les dômes arrondis des montagnes de l'Auvergne, les cratères de soulèvement des Canaries ou des Açores, le Vésuve et les fissures éruptives de l'Islande. Un coup d'œil jeté sur le satellite de notre planète permet de généraliser l'analogie que nous venons de signaler. Les cartes de la Lune, dessinées à l'aide de télescopes moyens, nous montrent la surface de cet astre parsemée de vastes cratères de soulèvement qui entourent des éminences coniques, ou qui les supportent sur leurs enceintes circulaires. Il est impossible de méconnaître ici les effets d'une réaction de l'intérieur du globe lunaire contre les couches extérieures, réaction éminemment favorisée

par la faiblesse de la pesanteur qui règne à la surface de notre satellite.

Si les volcans portent à juste titre, en beaucoup de langues, le nom de montagnes ignivomes, il ne faut pas en conclure que ces montagnes aient toujours été formées par l'accumulation incessante des coulées de lave. Leur formation paraît plutôt résulter, en général, d'un soulèvement brusque des masses ramollies de trachyte ou d'augite mélangée au labrador. La hauteur du volcan donne la mesure de la force qui l'a produit. Cette hauteur est si variable, que certains cratères ont à peine les dimensions d'une simple colline (tel est le volcan de Cosima, l'une des Kouriles japonaises), tandis qu'on voit ailleurs des cônes de 6000 mètres d'élévation. La hauteur des volcans m'a paru exercer une grande influence sur la fréquence des éruptions ; il m'a semblé que leur activité était en raison inverse de leur hauteur. Considérez, en effet, la série suivante : le Stromboli (707 mètres) ; dans la province de Quiros, le Guacamayo, qui tonne presque tous les jours (je l'ai souvent entendu près de Quito, à une distance de 16 myriamètres) ; le Vésuve (1181 mètres) ; l'Etna (3313 m.) ; le Pic de Ténériffe (3711 m.) ; le Cotopaxi (5812 m.). Si les foyers de tous ces volcans sont situés à la même profondeur, il est évident que la force nécessaire pour élever la masse de lave en fusion jusqu'à leurs sommets, doit croître avec leurs hauteurs. Il ne faut donc pas s'étonner si le plus petit de tous, le Stromboli (Strongyle), est en pleine

activité depuis le temps d'Homère, et sert encore aujourd'hui de phare aux navigateurs, tandis que des volcans six ou huit fois plus élevés paraissent condamnés à de longs intervalles d'inaction. Tels sont, pour la plupart, les colosses qui couronnent les Cordillères ; leurs éruptions se renouvellent à peine une fois par siècle. Cette loi, que j'ai signalée depuis longtemps, souffre à la vérité quelques exceptions ; mais on pourrait lever toute difficulté en admettant que la communication du cratère avec le foyer volcanique n'est pas libre au même degré, d'une manière permanente, dans tous les volcans. En outre, le canal de communication d'un volcan peu élevé pourrait s'oblitérer pendant un certain laps de temps, et par suite ses éruptions pourraient se ralentir sans qu'on fût en droit de conclure à une extinction prochaine.

Les considérations précédentes sur le rapport qui existe entre les hauteurs absolues des volcans et la fréquence de leurs éruptions, nous conduisent naturellement à l'examen des causes qui déterminent l'épanchement de la lave en tel ou tel point d'une montagne volcanique. Rarement l'éruption se fait par le cratère même ; elle s'effectue presque toujours par des ouvertures latérales, vers les points où la paroi de la montagne offre le moins de résistance ; cette remarque a été faite sur l'Etna, dès le XVIe siècle, par un jeune homme qui fut plus tard le célèbre historien Bembo (16). Il se forme quelquefois des cônes d'éruption sur ces fissures latérales ; les plus grands passent souvent, mais à tort, pour des volcans nouveaux ;

ils se suivent dans la direction même de la fissure qui s'est refermée. Les cônes moins élevés sont arrondis en forme de cloche ou de ruche ; ils sont rassemblés par groupes sur d'assez grandes étendues de terrain. Tels sont : les *hornitos* de Jorullo (17), les cônes qui surgirent sur les flancs du Vésuve pendant l'éruption d'octobre 1822, ceux du volcan d'Awatcha, d'après Postels, et ceux du Lavenfeld, près des monts Baïdares, dans le Kamtschatka, d'après Ermann.

Au lieu d'être libres et isolés au milieu des plaines, les volcans peuvent être entourés, comme ceux de la double chaîne des Andes de Quito, d'un plateau élevé de trois à quatre mille mètres. Cette circonstance suffirait peut-être pour expliquer les phénomènes particuliers à ce genre de volcans, dont le cratère ne vomit jamais de lave, même au milieu de formidables éruptions de scories incandescentes et d'explosions qui se font entendre à plus de cent lieues (18). Tels sont les volcans de Popayan, ceux du plateau de Los Pastos, et ceux des Andes de Quito, sauf le volcan d'Antisana, le seul, peut-être, qui fasse exception parmi ces derniers.

Ce qui donne à un volcan sa physionomie particulière, c'est d'abord la hauteur du cône de cendres ; puis c'est la forme et la grandeur de son cratère ; mais ces deux éléments principaux de la configuration générale des montagnes ignivomes, le cône de cendres et le cratère, ne dépendent nullement des dimensions de la montagne elle-même. Ainsi, la hauteur du cône

de cendres du Vésuve est le tiers de celle de la montagne entière; pour le Pic de Ténériffe, cette hauteur est $\frac{1}{22}$ seulement de la hauteur totale, et cependant le Vésuve est trois fois moins élevé que le Pic. Sous ce rapport, un volcan beaucoup plus grand que celui de Ténériffe se rapproche du Vésuve; c'est le Rucu-Pichincha. De tous les volcans qu'il m'a été donné de voir dans les deux hémisphères, le Cotopaxi est celui dont le cône est le plus régulier et le plus pittoresque. La fonte subite des neiges qui en recouvrent le sommet annonce une éruption prochaine; avant que la fumée ne monte dans l'air raréfié qui baigne le sommet et l'ouverture du cratère, les parois du cône de cendres deviennent incandescentes et brillent d'une lueur rougeâtre, tandis que la montagne apparaît comme une énorme masse noire, d'un aspect sinistre.

Situé presque toujours sur le sommet de la montagne, le cratère forme une vallée profonde, en forme de cône tronqué, dont le fond est souvent accessible malgré ses continuels changements. Le plus ou moins de profondeur du cratère est même un indice qui permet de juger si la dernière éruption est récente ou ancienne. De longues crevasses, d'où s'échappent des torrents de fumée, ou bien de petites excavations circulaires remplies de matières en fusion, s'ouvrent et se referment alternativement dans cette vallée. Le fond se gonfle et s'affaisse; il s'y élève des monticules de scories et des cônes d'éruption qui surgissent parfois au-dessus des bords du cratère et changent ainsi

l'aspect de la montagne, pour des années entières; mais à l'éruption suivante, ces cônes retombent et disparaissent tout à coup. Les ouvertures de ces cônes d'éruption qui surgissent ainsi de l'intérieur du cratère, ne doivent pas être confondues, comme cela n'est arrivé que trop souvent, avec le cratère même qui les renferme. Ce dernier est-il inaccessible à cause de sa profondeur et de l'écarpement de ses parois, et c'est là le cas du Rucu-Pichincha (4855 m.), on peut du moins se placer sur le bord et considérer les sommités du cône qui s'élève du fond de la vallée intérieure, au milieu des vapeurs sulfureuses. C'est un magnifique spectacle; jamais la nature ne s'est offerte à moi sous un aspect plus grandiose que sur les bords du cratère de Pichincha. Dans l'intervalle de deux éruptions, il se peut qu'un volcan ne produise aucun phénomène lumineux, mais seulement des vapeurs d'eau chaude qui sortent des crevasses; ou bien l'on trouve, sur l'aire à peine échauffée du cratère, des monticules de scories dont on peut s'approcher sans danger. Dans ce dernier cas, le géologue voyageur peut se livrer sans crainte au plaisir de voir, en miniature, le spectacle d'une éruption : des masses de scories enflammées, sans cesse rejetées par ces petits volcans, retombent sur les flancs des monticules, et chaque explosion est régulièrement annoncée par un tremblement de terre purement local. La lave sort quelquefois des crevasses ou des puits qui se forment dans le cratère lui-même; mais cette lave ne parvient pas à en rompre les parois ni à s'épancher par-

dessus les bords. Si pourtant une rupture a lieu dans les flancs de la montagne, l'écoulement de la lave fondue se fait par cette issue, et le courant igné suit une direction telle, que le fond même du cratère proprement dit ne cesse pas d'être accessible, à l'époque de ces éruptions partielles. Pour donner une idée juste de ces phénomènes si souvent défigurés par des narrations fantastiques, nous avons dû insister sur la description de la forme et de la structure normale des monts ignivomes; nous avons dû surtout fixer le sens de ces mots *cratères*, *volcans*, *cônes d'éruption*, dont le vague et les acceptions diverses ont introduit tant de confusion dans cette partie de la science.

Les bords du cratère sont moins exposés à varier qu'on ne le croirait de prime abord, car la comparaison des mesures de Saussure avec les miennes a montré que, dans un intervalle de quarante-neuf ans (de 1773 à 1822), le bord du Vésuve, situé vers le nord-ouest (Rocca del Palo) a conservé la même hauteur au-dessus du niveau de la mer, du moins dans la limite des erreurs de l'observation (19).

Les volcans qui s'élèvent au-dessus de la limite des neiges perpétuelles, comme ceux de la chaîne des Andes, présentent des phénomènes particuliers. Les masses de neige qui les recouvrent fondent subitement pendant les éruptions et produisent des inondations redoutables, des torrents qui entraînent pêle-mêle des blocs de glace et des scories fumantes. Ces neiges exercent encore une action continue, pendant la période de repos du volcan, par leurs in-

filtrations incessantes dans les roches de trachyte. Les cavernes qui se trouvent sur les flancs de la montagne ou à sa base, sont transformées peu à peu en réservoirs souterrains que d'étroits canaux font communiquer avec les ruisseaux alpestres du plateau de Quito. Les poissons des ruisseaux vont se multiplier de préférence dans les ténèbres des cavernes ; et quand les secousses qui précèdent toujours les éruptions des Cordillères ébranlent la masse entière du volcan, les voûtes souterraines s'entr'ouvrant tout à coup, l'eau, les poissons, les boues tuffacées sont expulsés à la fois. Tel est le singulier phénomène qui a fait connaître aux habitants des plaines de Quito le petit poisson *Pimelodes Cyclopum* qu'ils appellent *Preñadilla* (20). Dans la nuit du 19 au 20 juin 1698, le sommet du mont Carguairazo, de 6000 mètres de hauteur, s'écroula subitement, sauf deux énormes piliers, derniers vestiges de l'ancien cratère ; les terrains environnants furent recouverts et rendus stériles, sur une étendue de près de sept lieues carrées, par du tuf délayé et par une vase argileuse (*lodazales*) contenant des poissons morts. Les fièvres pernicieuses qui se déclarèrent, sept ans plus tard, dans la ville d'Ibarra, au nord de Quito, furent attribuées à la putréfaction d'un grand nombre de poissons morts que le volcan Imbabaru avait rejetés.

Comme les boues et les eaux ne sortent point du cratère même, mais des cavernes qui existent dans la masse trachytique de la montagne, leur apparition n'est pas un phénomène volcanique, dans le sens strict

de ce mot: elle ne se rattache que d'une manière indirecte à l'éruption du volcan. On pourrait en dire autant d'un phénomène météorologique fort singulier que j'ai décrit ailleurs sous le nom d'*orage volcanique.* Des vapeurs d'eau extrêmement chaudes s'échappent du cratère pendant l'éruption, s'élèvent à plusieurs milliers de mètres dans l'atmosphère, et forment, en se refroidissant, un nuage épais autour de la colonne de fumée et de cendres. Leur condensation subite, et, selon Gay-Lussac, la formation d'un nuage à large surface augmentent la tension électrique : des éclairs sortent, en serpentant, du sein de la colonne de cendres; l'on distingue parfaitement les roulements du tonnerre et les éclats de la foudre, au milieu du bruit qui se produit dans l'intérieur du volcan. Tels furent en effet, en 1822, dans les derniers jours d'octobre, les phénomènes qui signalèrent la fin de l'éruption du Vésuve. D'après Olafsen, la foudre éclata au sein de ces nuages volcaniques, pendant l'éruption du Katlagia (Islande), le 17 octobre 1755; elle tua deux hommes et onze chevaux.

Ce tableau général des phénomènes volcaniques serait incomplet, si nous nous bornions à décrire l'activité dynamique et la structure des volcans; il nous reste à jeter un coup d'œil sur l'immense variété de leurs produits matériels. Les forces souterraines détruisent les anciennes combinaisons des éléments pour en former de nouvelles; leur action s'exerce sur la matière liquéfiée par la chaleur, aussi longtemps que le permet son état de fluidité ou de

désagrégation. Les matières liquides ou simplement ramollies se solidifient sous l'influence d'une pression plus ou moins considérable, et la différence des pressions paraît être la cause principale de la différence qui existe entre les roches *plutoniques* et les roches *volcaniques*. Le nom de *lave* s'applique aux matières fondues qui sortent, en longues coulées, d'un orifice volcanique. Lorsque plusieurs courants de lave se rencontrent et sont arrêtés par un obstacle, ils s'étendent en largeur, remplissent de grands bassins et s'y solidifient en formant des couches superposées. C'est là tout ce qu'on peut dire de général sur le genre d'activité volcanique dont il s'agit.

Des fragments de roches appartenant aux terrains que les volcans traversent, sont souvent rejetés au dehors avec une enveloppe d'origine ignée. C'est ainsi que j'ai vu des fragments angulaires de syénite feldspathique contenus dans la lave noire du volcan mexicain de Jorullo, lave composée principalement d'augite. On trouve sur le Vésuve des masses de dolomie et de calcaire granulaire qui contiennent de magnifiques groupes de minéraux cristallisés (vésuvianes et grenats recouverts de méionite, de néphéline et de sodalite); mais ces masses n'ont point été rejetées par le Vésuve : « elles appartiennent plutôt à des couches de tuf, formation très-répandue et plus ancienne que le soulèvement de la Somma ou du Vésuve; ce sont probablement des produits d'une action volcanique sous-marine, dont le foyer devait être situé à une grande profondeur (21). » Parmi les produits

des volcans actuels se trouvent cinq métaux : le fer, le cuivre, le plomb, l'arsenic, et le sélénium découvert par Stromeyer dans le cratère de Volcano. Les vapeurs des fumerolles contiennent des sublimations de chlorures de fer, de cuivre, de plomb et d'ammoniaque. Du fer spéculaire (22) et du sel marin (le dernier surtout en grande quantité) remplissent les cavités des coulées de lave récente, et tapissent les fissures qui se sont formées dans les parois du cratère.

La composition minéralogique des laves varie suivant la nature des roches cristallines qui composent le volcan, suivant la hauteur du point où se fait l'éruption (soit au pied de la montagne, soit plus près du cratère), et suivant la chaleur plus ou moins forte qui règne à l'intérieur. Plusieurs produits vitrifiés, l'obsidienne, la perlite et la ponce manquent complétement dans certains volcans. Ailleurs, ces roches proviennent du cratère, ou de points situés intérieurement, à de faibles profondeurs. L'étude de ces relations importantes, mais complexes, exige une grande exactitude dans les analyses chimiques ou cristallographiques. Mon compagnon de voyage en Sibérie, Gustave Rose, et après lui Hermann Habich, ont obtenu déjà d'heureux résultats dans leurs recherches sur la structure de ces roches volcaniques si variées.

Les émissions gazeuses sont formées, en grande partie, de vapeurs d'eau pure; elles se condensent et donnent naissance à des sources, comme celles qui servent aux chevriers de l'île de Pantellaria. Un matin, le 26 octobre 1822, on vit sortir du Vésuve, par

une fissure latérale du cratère, un courant que l'on crut longtemps formé d'eau bouillante; en l'examinant de plus près, Monticelli trouva que c'était un courant de cendres sèches, de lave réduite en poussière par le frottement et coulant comme du sable fin. Quant aux cendres qui, chassées par les vapeurs, s'élèvent dans les airs comme une colonne immense, leur apparition signale ordinairement la fin de chaque grande éruption; elles obscurcissent l'atmosphère pendant des heures et même pendant des journées entières; puis, en retombant, elles recouvrent d'un enduit les feuilles des arbres, et nuisent particulièrement aux vignes et aux oliviers. C'est cette colonne de cendres ascendantes que Pline le Jeune décrivait, dans sa célèbre lettre à Tacite, en la comparant à un pin dont la cime seule serait garnie de branches. Les lueurs qu'on aperçoit pendant les éruptions de scories, et l'éclat rougeâtre des nuages placés au-dessus du cratère ne sont point de véritables flammes et ne peuvent être attribuées à du gaz hydrogène brûlant; ce sont des reflets de la lumière des masses incandescentes que le volcan a lancées à une grande hauteur; elles proviennent aussi du cratère lui-même, qui éclaire les vapeurs ascendantes. Quant aux flammes qu'on a vues sortir du sein de la mer, comme au temps de Strabon, pendant les éruptions de volcans situés près de la côte, ou quelque temps avant le soulèvement d'une île nouvelle, nous n'avons aucune explication à proposer.

Demander ce qui *brûle* dans les volcans, chercher ce qui engendre la chaleur, fond les métaux et les roches, et produit les courants de lave d'une grande épaisseur (23), dont la température est encore très-élevée plusieurs années après leur sortie du cratère, c'est déjà préjuger la question; du moins, c'est admettre implicitement que tout volcan suppose un amas de matières combustibles propres à alimenter son activité, de même que les lits de charbon de terre alimentent des incendies souterrains. Suivant les phases diverses que les sciences chimiques ont parcourues, les phénomènes volcaniques ont été successivement attribués au bitume, puis aux pyrites ou à un mélange humide de soufre et de fer réduits en poussière, tantôt à des pyrophores naturels, tantôt aux métaux des alcalis et des terres. Hâtons-nous de dire que, dans son dernier ouvrage, *Consolations in travel and last days of a Philosopher*, livre dont la lecture inspire un sentiment de tristesse, le célèbre chimiste auquel nous devons la découverte des métaux alcalins, sir Humphry Davy, a renoncé lui-même à son hypothèse chimique. La densité moyenne de la terre (5,44) comparée aux poids spécifiques beaucoup plus faibles du potassium (0,865), du sodium (0,972) et des métaux terreux (1,2), l'absence d'hydrogène dans les émanations gazéiformes des fissures volcaniques ou des laves encore chaudes, et bien d'autres considérations chimiques (24) sont en contradiction manifeste avec les anciennes idées de Davy et d'Ampère. Si l'éruption des laves donnait lieu à un

dégagement d'hydrogène, en quelle énorme masse ce gaz ne devrait-il pas se dégager, quand la lave qui s'épanche d'un cratère d'éruption couvre des contrées entières, et acquiert une épaisseur de plusieurs centaines de pieds là où elle a été arrêtée par un obstacle ! Telles furent pourtant, d'après Mackenzie et Soemund Magnussen, les suites d'une éruption qui eut lieu en Islande, au pied du Skaptar-Jœkul, du 11 juin au 3 août 1783. Veut-on, pour étayer l'hypothèse d'une combustion souterraine, recourir à l'introduction de l'air dans l'intérieur des volcans, ou, comme on l'a dit par métaphore, à une inspiration de notre planète? on rencontre des difficultés analogues : là, c'était l'hydrogène qui faisait défaut parmi les produits des volcans ; ici, c'est l'azote, dont on retrouve à peine quelques traces dans leurs exhalaisons. Une activité si puissante et si généralement répandue dans les entrailles de la terre, ne saurait avoir sa source dans les réactions chimiques qui s'engendrent au contact de certaines substances particulières à quelques localités. La nouvelle géognosie préfère en chercher la cause dans la chaleur centrale de notre globe, chaleur dont l'existence se révèle à la surface par la température croissant rapidement avec la profondeur, sous toutes les latitudes, et dont l'origine remonte à ces époques cosmogoniques où notre planète fut elle-même formée par la condensation progressive d'une partie de l'atmosphère nébuleuse du soleil. La science de la nature, nous l'avons déjà rappelé plusieurs

fois, n'est point une aride accumulation de faits isolés; elle n'est pas bornée par les étroites limites de la certitude matérielle; elle doit s'élever aux vues générales et aux conceptions synthétiques. Pourquoi serait-il interdit à l'esprit humain, avide de savoir, de s'élancer du présent pour remonter vers les temps passés, de soupçonner ce qu'il ne peut démontrer, de poursuivre enfin la solution du problème qui a été posé de tout temps à son activité, jusque sous les formes variées des *mythes* de la géognosie? Si les volcans sont pour nous des *sources intermittentes*, mais irrégulières, d'où jaillit un mélange fluide d'oxydes métalliques, d'alcalis et de terre, sous la puissante pression des vapeurs élastiques, si ces sources ignées coulent aussi, calmes et paisibles, là où les masses liquéfiées ont trouvé une issue permanente, pouvons-nous oublier combien la riche imagination de Platon s'était rapprochée de ces idées, lorsque ce grand philosophe assignait, aux éruptions des volcans et à la chaleur des sources thermales, une cause unique, universellement répandue dans les entrailles de la terre, et symbolisée par un fleuve de feu souterrain, le *Pyriphlégéthon* (25)?

Indépendants de l'influence des climats dans leur mode de distribution géographique, les volcans ont été rangés en deux classes essentiellement différentes : les *volcans centraux* et les *chaînes volcaniques*. « Les premiers forment toujours le centre d'un groupe de volcans secondaires fort nombreux et assez régulièrement disposés dans tous les sens.

Ceux qui composent les chaînes volcaniques sont échelonnés, à de faibles distances, dans une même direction, comme des cheminées qui se seraient formées sur une grande faille. Cette seconde classe se subdivise à son tour : ou bien les volcans d'une même chaîne s'élèvent du fond de la mer, sous forme d'îlots coniques, et alors ils sont ordinairement distribués au pied d'une chaîne de montagnes primitives qui court dans la même direction ; ou bien ils sont situés sur la ligne de faîte de cette chaîne primitive dont ils forment les sommets (26). » Le Pic de Ténériffe, par exemple, est un *volcan central ;* il est le centre d'un groupe auquel appartiennent les îles volcaniques de Palma et de Lancerote. L'immense rempart naturel qui s'étend depuis le Chili méridional jusqu'à la côte nord-ouest de l'Amérique, tantôt simple, tantôt divisé en deux ou trois branches parallèles, renouées de distance en distance par d'étroites articulations transversales, la chaîne des Andes, en un mot, nous offre, sur une grande échelle, l'exemple d'une *chaîne volcanique* située sur la terre ferme. Dans cette chaîne, la proximité des volcans actifs est constamment annoncée par l'affleurement brusque de certaines roches (dolérite, mélaphyre, trachyte, andésite, porphyre dioritique) qui ont traversé les roches primitives, les terrains de transition formés d'argile ou de grès, et les strates récentes. Cette remarque m'a conduit, il y a longtemps, à admettre que les roches sporadiques dont je viens de faire l'énumération, ont été

le siége d'anciens phénomènes volcaniques, et la cause déterminante des éruptions. C'est au pied du puissant Tunguragua, près de Penipe (sur les bords du Rio-Puela), que j'ai vu nettement, pour la première fois, une roche volcanique traverser une couche de micaschiste reposant sur le granit.

Lorsque les volcans des *chaînes volcaniques* du Nouveau-Continent sont très-rapprochés, il existe entre eux une certaine liaison. Au Pérou, l'activité volcanique paraît se propager peu à peu, depuis des siècles, dans la direction du sud au nord. Le foyer général s'étend sous le plateau tout entier qui forme la province de Quito (27); çà et là des soupiraux établissent des communications entre ce foyer et l'atmosphère : ce sont les volcans du Pichincha, du Cotopaxi et du Tunguragua; leurs cimes élevées et leur distribution pittoresque forment le tableau le plus grandiose qu'on puisse rencontrer dans une contrée volcanique aussi resserrée. Les extrémités de ces chaînes volcaniques sont donc reliées entre elles par des communications souterraines, et les preuves nombreuses qui justifient cette assertion rappellent une parole bien remarquable de Sénèque : « un cratère n'est que l'issue des forces volcaniques qui agissent à une grande profondeur (28). » Une dépendance mutuelle relie pareillement les volcans du plateau mexicain, l'Orizaba, le Popocatepetl, le Jorullo, le Colima, tous situés dans la même direction, sur une grande faille qui s'est étendue transversalement d'une mer à l'autre,

par 18° 59′ et 19° 12′ de latitude septentrionale. C'est précisément dans cette direction, reconnue et signalée par moi-même (29), c'est sur la même faille que le volcan de Jorullo a surgi, le 29 septembre 1759, à 513 mètres au-dessus des plaines environnantes. Ce volcan n'a vomi de la lave qu'une seule fois ; de même, le mont Epoméo, dans l'île d'Ischia, n'a eu qu'une éruption vers l'an 1302.

Mais si le Jorullo, situé à 15 myriamètres de tout volcan actif, peut passer pour une *montagne nouvelle*, dans le sens propre de ce mot, son apparition ne doit pourtant pas être assimilée à celle du Monte-Nuovo (19 septembre 1538), qui n'est qu'un simple *cratère de soulèvement.* Il est plus exact et plus naturel, à mon avis, de comparer, comme je l'ai fait autrefois, l'érection subite du volcan mexicain, au soulèvement volcanique du pic de Méthone (actuellement Methana), dans la presqu'île de Trézène. Ce dernier phénomène, décrit par Strabon et par Pausanias, a fait naître, dans la brillante imagination d'un poëte romain, des aperçus frappants par leur affinité avec les idées actuelles : « On voit, près de Trézène, un pic aride et escarpé : c'était autrefois une plaine unie, maintenant c'est une colline. Les vapeurs enfermées dans de sombres cavernes cherchaient en vain une issue ; sous leur effort puissant, le sol se tuméfia comme une vessie qui se gonfle d'air ou comme une outre formée de la peau d'un bouc. La terre, ainsi soulevée, a conservé la forme d'une haute colline que le temps a changée en un dur rocher. » Le

pic de Méthone s'est élevé entre Trézène et Épidaure, en un lieu où Russegger a rencontré des veines de trachyte ; sa formation remonte à 282 ans avant notre ère, c'est-à-dire à 45 ans avant la séparation volcanique de Théra (Santorin) et de Thérasia. Ajoutons que tous les faits analogues, actuellement acquis à la science, justifient la poétique description qu'Ovide nous a laissée de ce grand événement naturel (30).

De toutes les îles d'éruption qui font partie de chaînes volcaniques, la plus importante est Santorin. « C'est le type complet des îles de soulèvement. Depuis 2000 ans, aussi loin que l'histoire et la tradition puissent remonter, on voit la nature travailler sans relâche à former un volcan au milieu du cratère de soulèvement (31). » L'île de San-Miguel, l'une des Açores, est aussi le théâtre de phénomènes semblables qui se produisent par périodes de quatre-vingts ou de quatre-vingt-dix ans (32) ; mais le fond de la mer n'y a pas toujours été soulevé aux mêmes points. L'île Sabrina, ainsi nommée par le capitaine Tillard, parut le 30 janvier 1811 ; malheureusement les événements politiques de cette époque ne permirent pas aux puissances maritimes de l'Europe occidentale de donner à ce grand phénomène toute l'attention qui fut accordée plus tard (33) à l'apparition éphémère de l'île Ferdinandea (le 2 juillet 1831, dans la mer de Sicile, entre les côtes calcaires de Sciacca et l'île volcanique de Pantellaria).

Le grand nombre de volcans actifs situés dans les

îles ou sur les côtes, et les éruptions sous-marines qui se produisent encore de temps en temps, ont fait penser que l'activité volcanique est subordonnée au voisinage de la mer; on a cru que l'une ne pouvait se développer ni durer sans l'autre. « L'Etna et les îles Eoliennes, dit Justin (34), ou plutôt Trogue Pompée que Justin a abrégé, brûlent depuis bien des siècles; or, comment ce feu pourrait-il durer si la mer ne lui fournissait un aliment? » En acceptant ces vieilles idées comme point de départ, on a cherché, dans ces derniers temps, à fonder toute la théorie des volcans sur l'hypothèse de l'introduction des eaux marines dans leurs foyers, c'est-à-dire dans les couches profondes de l'écorce terrestre. Cette théorie a soulevé une discussion fort compliquée; pourtant, après avoir considéré, dans leur ensemble, les données que la science possède aujourd'hui, il m'a semblé que le débat pouvait se résumer dans les questions suivantes. Les vapeurs aqueuses que les volcans exhalent incontestablement, en grande quantité, même dans leurs périodes de repos, proviennent-elles des eaux salées de la mer, ou des eaux douces météoriques? La force d'expansion de la vapeur d'eau qui se développe, à diverses profondeurs, dans les foyers des volcans (à une profondeur de 28600 mètres, cette force serait de 2800 atmosphères), peut-elle faire équilibre à la pression hydrostatique des eaux de la mer, et leur permettre, dans certains cas, un libre accès dans les foyers volcaniques (35)? La production d'une grande quantité de chlorures

métalliques, la présence du sel marin dans les crevasses des cratères, celle de l'acide hydrochlorique libre dans les vapeurs d'eau qui s'en dégagent, supposent-elles nécessairement l'intervention des eaux de la mer ? L'inactivité des volcans, soit temporaire, soit permanente et définitive, est-elle déterminée par l'oblitération des canaux qui auraient primitivement conduit, vers leurs foyers, les eaux de la mer ou les eaux météoriques ? Enfin et surtout, comment concilier l'absence de flammes et le manque de gaz hydrogène pendant la période d'activité, avec l'hypothèse qui attribue cette activité à la décomposition d'une énorme masse d'eau (il ne faut pas perdre de vue que le dégagement d'hydrogène sulfuré est particulier aux solfatares plutôt qu'aux volcans actifs) ?

Je dois me borner à poser ces importantes questions de physique générale, car leur discussion ne saurait rentrer dans le plan de cet ouvrage. Mais puisqu'il s'agit ici de la distribution géographique des volcans, il est permis du moins de rétablir, dans leur intégrité, les faits dont on n'a pas assez tenu compte lorsqu'on a supposé que le voisinage de la mer est une condition nécessaire de l'activité volcanique. On trouve, dans le Nouveau-Monde, trois volcans, le Jorullo, le Popocatepetl et le volcan de la Fragua, situés respectivement à 15, 25 et 29 myriamètres des bords de l'Océan. Dans l'Asie centrale, presque à égale distance de la mer Glaciale et de l'océan Indien (273 et 284 myriamètres), s'étend une grande chaîne de montagnes volcaniques, le Thian-chan [les *Montagnes Célestes*,

signalées aux géologues par Abel Rémusat] (36), dont font partie le Pé-chan qui vomit de la lave, la solfatare d'Urum-tsi, et le volcan encore actif du Turfan (Hotseu). Le Pé-chan est situé à 250 myriamètres de la mer Caspienne, à 32 et à 39 myriamètres des grands lacs d'Issikoul et de Balkasch (37); les écrivains chinois ont décrit ses éruptions qui dévastèrent les contrées environnantes, vers le premier et le septième siècle de notre ère. Il est impossible de ne pas reconnaître les *courants de lave*, lorsqu'ils disent : « Les masses de pierre liquéfiées coulaient, aussi fluides que de la graisse fondue, sur une étendue de 10 *li*. » Enfin, parmi les quatre grandes chaînes parallèles, l'Altaï, le Thian-chan, le Kuen-lun et l'Himalaya, qui traversent de l'est à l'ouest le continent asiatique, ce sont les deux chaînes intérieures, situées à 297 et à 134 myriamètres de toute mer, qui possèdent des volcans vomissant du feu comme l'Etna et le Vésuve, exhalant des vapeurs ammoniacales comme les volcans de Guatimala, tandis qu'il n'en existe aucun dans la chaîne la plus voisine de la mer, dans l'Himalaya. Ainsi les phénomènes volcaniques ne dépendent point du voisinage de la mer, en ce sens qu'ils ne sauraient être causés par l'introduction des eaux dans les régions souterraines. Si les côtes paraissent offrir un gisement favorable aux éruptions, c'est qu'elles forment les bords de profonds bassins occupés par la mer, et ces bords recouverts seulement par des couches d'eau, situés d'ailleurs à quelques milliers de mètres au-dessous de l'intérieur

des continents, doivent présenter, en général, à l'action des forces souterraines, beaucoup moins de résistance que la terre ferme.

La formation des volcans actuels, dont les cratères établissent une communication permanente entre l'atmosphère et l'intérieur du globe, ne remonte pas à une époque plus reculée, car les couches de craie les plus élevées et toutes les formations tertiaires existaient avant ces volcans. C'est ce que montrent les éruptions de trachyte et les basaltes qui forment souvent les parois des cratères de soulèvement. Les mélaphyres s'étendent jusqu'aux moyennes couches tertiaires; mais ils commencent déjà à se montrer sous la formation jurassique, puisqu'ils traversent les grès bigarrés (38). Il faut se garder de confondre les cratères actuellement actifs, avec les épanchements antérieurs de granit, de porphyre quartzeux et d'euphotide qui eurent lieu par des failles de l'ancien terrain de transition.

L'activité volcanique peut disparaître complétement, comme en Auvergne; quelquefois elle se déplace et cherche une autre issue dans la même chaîne de montagnes; alors l'extinction n'est que *partielle*. Sans qu'il soit nécessaire de remonter au delà des temps historiques, on trouve des exemples d'extinction *totale* beaucoup plus récents que ceux de l'Auvergne. Ainsi, le volcan situé dans l'île consacrée à Vulcain, le Mosychlos (39) dont Sophocle cite « les tourbillons des flammes, » est actuellement éteint; on peut en dire autant du volcan de Médine,

qui, d'après Burckhardt, a vomi un dernier torrent de lave le 2 novembre 1276. Chaque phase de l'activité d'un volcan, depuis sa naissance jusqu'à son extinction, est caractérisée par des produits différents. D'abord, le volcan vomit des scories incandescentes ; des courants de lave formée de trachyte, de pyroxène et d'obsidienne, des rapillis et du tuf sous forme de cendres, accompagnés d'un dégagement considérable de vapeurs d'eau presque toujours pure. Plus tard, le volcan devient solfatare ; les vapeurs d'eau qu'il émet sont mélangées d'hydrogène sulfuré et d'acide carbonique. Enfin le cratère lui-même se refroidit entièrement, et il ne s'en exhale plus que du gaz acide carbonique. Il est pourtant une classe singulière de volcans, tels que le Galunggung de Java, qui ne vomissent point de lave, mais qui lancent des torrents dévastateurs d'eau bouillante, chargés de soufre en combustion et de roches réduites en poussière (40). Avant de décider si leur état actuel est un état normal ou une simple modification passagère de l'activité volcanique, il faut attendre qu'ils aient été examinés par des géologues initiés aux doctrines de la chimie moderne.

Nous voici arrivés au terme de la description générale des volcans, l'une des plus importantes manifestations de l'activité intérieure de notre planète. Je l'ai fondée, en partie, sur mes propres observations ; mais, pour en tracer les contours généraux, j'ai dû prendre pour guide les travaux de mon ami Léopold

de Buch, le plus grand géologue de notre époque, le premier qui ait reconnu l'intime connexité et la dépendance mutuelle des phénomènes volcaniques.

Longtemps on n'a vu dans la *vulcanicité* (la réaction de l'intérieur d'une planète contre son écorce) qu'un phénomène isolé, qu'une force locale, remarquable seulement par sa puissance de destruction. Il était réservé à la géognosie nouvelle de se placer à un point de vue plus élevé et d'envisager les forces volcaniques comme *formant de nouvelles roches*, ou comme *modifiant les roches préexistantes*. A ce point de vue, que nous avons déjà signalé, deux sciences différentes, la partie minéralogique de la géognosie (structure et succession des couches terrestres), et l'étude géographique de la forme des continents et des archipels soulevés au-dessus du niveau de la mer, viennent se relier à une seule et même doctrine, celle de la vulcanicité. Si la science est parvenue à rattacher ainsi deux grandes classes de phénomènes à une seule conception, elle le doit à la direction vraiment philosophique que suivent aujourd'hui tous les géologues. Les sciences procèdent comme les grands intérêts politiques de l'humanité; elles tendent incessamment à ramener à l'unité les parties qui sont restées longtemps isolées.

On peut classer les roches, d'après leurs différences de structure ou de superposition, en roches *stratifiées* et *non stratifiées*, en *lamellaires* et *compactes*, en *normales* et *anormales*; mais quand on

cherche à découvrir, par l'étude des phénomènes qui se produisent encore sous nos yeux, comment les roches ont été formées, puis modifiées, on trouve qu'elles peuvent être distribuées en quatre classes fondamentales :

1° Les *roches d'éruption*, sorties de l'intérieur de la terre, ou *volcaniquement*, à l'état de *fusion*, ou *plutoniquement*, à l'état de *ramollissement* plus ou moins marqué.

2° Les *roches de sédiment*, précipitées ou déposées du sein d'un milieu liquide où elles étaient primitivement dissoutes, ou tenues en suspension (telle est la plus grande partie des groupes secondaire et tertiaire).

3° Les *roches transformées* (métamorphiques), dont la texture et le mode de stratification ont été altérés, soit par le contact ou la proximité d'une roche d'éruption plutonique ou volcanique [roches *endogènes*] (41), soit par l'action des vapeurs et des sublimations (42) qui accompagnent la sortie de certaines masses à l'état de fluidité ignée ; ce dernier mode d'altération est le plus fréquent.

4° Les *conglomérats*, les grès à grains fins ou grossiers, les brèches. Ces roches sont formées de débris des trois roches précédentes, divisées mécaniquement.

Ces quatre genres de roches se produisent encore sous nos yeux par l'épanchement de masses volcaniques en coulées étroites, par l'action de ces masses sur des roches anciennes, par la séparation mécanique ou chimique de matières suspendues ou dis-

soutes dans des eaux chargées d'acide carbonique, enfin par la cimentation des détritus de roches de toute nature. Mais ce n'est là qu'un faible reflet de ce qui s'est passé pendant la période chaotique du monde primitif; alors, sous de tout autres conditions de chaleur et de pression, l'activité de notre globe s'est développée avec plus d'énergie, sur un sol moins résistant et dans une atmosphère plus étendue, plus chargée de vapeurs. Aujourd'hui, les énormes fractures de l'écorce terrestre ont disparu; les failles béantes des couches superficielles déjà consolidées, ont été comblées par les chaînes de montagnes que les forces souterraines ont soulevées et poussées au dehors, ou par des roches d'éruption (le granit, le porphyre, le basalte, le mélaphyre); à peine s'il est resté, sur une étendue telle que celle de l'Europe, quatre ouvertures, quatre volcans par où les matières ignées puissent faire irruption. Mais autrefois, l'écorce naissante, fracturée en tous sens, encore peu épaisse, soumise à des fluctuations continuelles, tantôt soulevée, tantôt affaissée, laissait presque partout communiquer la masse intérieure en fusion avec l'atmosphère, et les effluves gazeuses, dont la nature chimique devait varier autant que les profondeurs d'où elles s'échappaient, venaient donner comme une vie nouvelle aux développements successifs des formations plutoniques et métamorphiques. Ce que nous venons de dire pour la période ignée, nous pouvons le dire aussi de celle où les terrains de sédiment se sont formés. Les couches de travertin qui se déposent

journellement à Rome comme à Hobart-Town, en Australie, nous retracent l'image, mais une image bien affaiblie, de la formation des terrains fossilifères. Sous des influences encore peu connues, nos mers actuelles produisent incessamment, par voie de précipitation, d'atterrissement et de cimentation, sur les côtes de la Sicile, sur celles de l'île de l'Ascension, dans la lagune du Roi Georges (Australie), de petits bancs de calcaire dont certaines parties ont acquis une dureté comparable à celle du marbre de Carrare (43). Ces formations de l'océan actuel ont enseveli, sur les côtes des Antilles, des produits de l'industrie humaine, et jusqu'à des squelettes de la souche caraïbe (à la Guadeloupe). Les nègres des colonies françaises nomment cette formation *maconne-bon-Dieu* (44). On a trouvé dans l'une des Canaries, l'île de Lancerote, une petite couche d'oolithe qui, malgré sa nouveauté, rappelle le calcaire du Jura; c'est une production de la mer et des tempêtes (45).

Les roches composées sont des associations déterminées de certains minéraux simples, le feldspath, le mica, la silice, l'augite, la néphéline. Les volcans produisent encore sous nos yeux des roches semblables à celles du monde primitif; les éléments sont les mêmes de part et d'autre, mais ils sont différemment groupés. Nous avons dit plus haut (46) qu'il n'existe aucun rapport entre les caractères minéralogiques et la distribution géographique des roches; c'est qu'en effet le géologue s'étonne de voir, dans les zones les plus éloignées, au nord comme au sud de l'équateur,

les moindres détails se répéter dans la disposition alternante des couches siluriennes, et les mêmes effets se reproduire au contact des masses augitiques d'éruption.

Il nous faut maintenant considérer de plus près les quatre classes fondamentales de roches (classes correspondantes à quatre phases de formation) que nous offrent les couches stratifiées ou massives de l'écorce terrestre. Et d'abord, parmi les roches endogènes ou d'éruption que la géognosie moderne a désignées sous les noms de roches *massives* et *anormales*, nous trouvons plusieurs produits de l'action immédiate des forces souterraines, dont nous allons énumérer les groupes principaux :

Le *granit* et la *syénite*, appartenant à des époques très-différentes ; cependant le granit traverse souvent la syénite (47) ; il est alors d'une origine plus récente que la force qui a soulevé cette dernière roche. Lorsque le granit apparaît en grandes masses isolées, sous forme d'ellipsoïdes faiblement voûtés, que ce soit dans le Hartz, ou dans le Mysore, ou dans le Bas-Pérou, partout il est surmonté d'une croûte divisée en blocs. Probablement cette espèce de mer formée de rochers, doit son origine à la contraction de la surface primitive du granit (48). Dans l'Asie septentrionale (49), sur les rives pittoresques du lac Kolivan (Altaï), comme sur les revers de la chaîne maritime de Caracas, à Las Trincheras (50), j'ai vu aussi des assises de granit dont les divisions proviennent sans doute d'un retrait analogue ; mais il m'a paru que

cette structure s'étendait profondément sous terre. L'aspect des roches d'éruption sans trace de gneiss, que j'ai rencontrées sur les frontières de la province chinoise d'Ili (au sud du lac Kolivan, entre Buchtarminsk et la rivière Narym), m'a vivement frappé; je n'avais jamais rien vu de semblable dans les autres parties du monde. Le granit, toujours écaillé à la surface, toujours caractérisé par des divisions prismatiques, s'élève dans la steppe, tantôt en petits monticules hémisphériques, hauts de 2 ou 3 mètres tout au plus, tantôt, comme le basalte, en forme de coupe dont la base présente deux coulées étroites diamétralement opposées (51). Aux cataractes de l'Orénoque comme dans le Fichtelgebirge (Seissen), en Galice comme sur le Papagallo (entre la mer du Sud et le plateau du Mexique), j'ai vu le granit en grands globes aplatis qui offraient des divisions concentriques semblables à celles de certains basaltes. Dans la vallée d'Irtysch, entre Buchtarminsk et Ustkamenogorsk, le granit recouvre le schiste argileux de transition sur une longueur de près d'un myriamètre (52); il envoie dans cette couche, de haut en bas, d'étroites veines qui se ramifient et se terminent en pointes effilées.

Je cite ces détails dans l'unique but de faire ressortir, par quelques exemples, le caractère fondamental des roches d'éruption, dans une des roches les plus généralement répandues dans la nature. De même que le granit couvre l'argile en Sibérie et dans le département du Finistère (île de Mihau), de même il recouvre le calcaire jurassique, dans les montagnes d'Oisans (Fermonts), de même il recouvre la syénite, et au milieu de cette roche,

la craie, à Weinbœhla, en Saxe (53). Dans l'Ural, à Mursinsk, le granit est poreux; ses cellules sont, comme les cellules et les fissures des roches volcaniques récentes, remplies de magnifiques cristaux, principalement de bérils et de topazes.

Le *porphyre quartzeux*, qui se joint souvent en forme de gangue avec les autres roches. La pâte est ordinairement un mélange à grains fins des mêmes éléments qui s'y trouvent disséminés en gros cristaux. Dans le *porphyre granitique*, très-pauvre en quartz, la pâte feldspàthique est presque *granulaire* et feuilletée (54).

Les *grunsteins*, les diorites, mélange granulaire d'albite blanche et de hornblende d'un vert noirâtre, formant des *porphyres dioritiques* lorsque les cristaux d'albite sont disséminés dans une pâte compacte. Ces grunsteins, tantôt purs, tantôt mêlés de feuillets intercalés de diallage (Fichtelgebirge), et passant, dans ce dernier cas, à la serpentine, ont été injectés quelquefois entre les anciennes strates du schiste argileux vert où ils forment des lits; plus souvent ils traversent le sol sous forme de filons, ou bien ils s'élèvent sous forme de dômes tout à fait analogues aux dômes de basalte et de porphyre (55).

L'*hypersthenfels* est un mélange granulaire de labrador et d'hypersthène.

L'*euphotide* et la serpentine, où le diallage se trouve quelquefois remplacé par des cristaux d'augite et d'uralite, et alors très-rapprochées d'une roche plus commune, je dirais presque d'une roche d'éruption plus active, le porphyre augitique (56).

Le *mélaphyre*, et les porphyres à cristaux d'augite,

d'uralite et d'oligoklas. C'est à cette dernière espèce de porphyre qu'appartient le pur *vert-antique*, si célèbre par son emploi dans les arts.

Le *basalte* avec l'olivine et ses éléments, qui, traités par les acides, donnent des précipités gélatineux, la *phonolithe* (porphyre argileux), le *trachyte* et la *dolérite;* la première de ces roches est partiellement divisée en plaques minces; la deuxième présente toujours cette structure qui donne à ces deux roches, même sur de grandes étendues, l'apparence d'une sorte de stratification. D'après Girard, la mésotype et la néphéline entrent pour une part importante dans la composition et la texture interne des masses basaltiques. La néphéline du basalte rappelle au géologue la *miascite* des montagnes de l'Ilmen, dans l'Oural (57), minéral qu'on a confondu avec le granit, et qui contient quelquefois de la zircone; elle rappelle aussi la néphéline pyroxénique, découverte par Gumprecht près de Lœbau et de Chemnitz.

La deuxième classe de roches, les roches de sédiment, comprend la majeure partie de ces formations auxquelles on a donné autrefois les dénominations systématiques, mais peu correctes, de *formations de flœtz*, *formations de transition*, *formations secondaires* et *tertiaires.* Si les roches d'éruption n'avaient point soulevé l'écorce terrestre, si les tremblements de terre qu'elles ont occasionnés n'avaient point agi sur les formations sédimentaires, la surface de notre planète consisterait en couches horizontales, régulièrement disposées les unes au-dessus des autres, Dépourvue de nos chaînes

de montagnes dont les versants reflètent, pour ainsi dire, de la base au sommet, dans la gradation pittoresque des espèces végétales, l'échelle des températures décroissantes de l'atmosphère, à peine si la surface des continents serait accidentée par quelques ravins, par l'accumulation de quelques détritus, insignifiants produits de la force d'érosion et de transport de faibles courants d'eau douce; d'un pôle à l'autre, la surface monotone de la terre présenterait le triste spectacle des Llanos de l'Amérique du Sud ou des steppes de l'Asie septentrionale; partout nous verrions la voûte céleste reposer immédiatement sur les plaines, et les astres monter au-dessus de cet uniforme horizon, comme du sein d'une mer sans rivages. Mais le monde primitif lui-même n'a point présenté partout cet aspect; du moins l'état de choses que nous venons de décrire n'a pu durer longtemps, car, à toutes les époques, les forces souterraines ont agi pour le modifier.

Les terrains de sédiment ont été *précipités* ou *déposés* du sein des eaux, suivant que la matière constituante, le calcaire ou le schiste argileux, se trouvait chimiquement dissoute dans le milieu liquide, ou à l'état de mélange et de suspension. Lorsque des terres dissoutes dans l'eau, à l'aide d'un excès d'acide carbonique, viennent à se précipiter, leur descente et leur accumulation en couches sont exclusivement réglées par les lois ordinaires de la mécanique. Cette remarque n'est pas sans importance pour l'étude de l'enfouissement des corps organiques dans les couches

calcaires où s'effectue la pétrification. Il est probable que les plus anciens sédiments des terrains de transition ou des terrains secondaires se sont formés dans des eaux maintenues à une température assez élevée, par la forte chaleur qui régnait alors à la surface de la terre. C'est à ce point de vue qu'il est permis de dire que les forces plutoniques ont agi sur les couches sédimentaires, et surtout sur les plus anciennes; mais ces couches paraissent s'être durcies et avoir acquis leur structure schisteuse sous l'influence d'une grande pression, au lieu que les roches sorties de l'intérieur (le granit, le porphyre ou le basalte) se sont *solidifiées* par voie de refroidissement. La haute température des eaux primitives venant à baisser peu à peu, ces eaux absorbèrent, en plus grande quantité, le gaz acide carbonique dont l'atmosphère était surchargée; elles purent dès lors tenir en dissolution une plus grande masse de calcaire.

Voici l'énumération des couches de sédiment, dont nous exclurons toutes les couches exogènes qui proviennent de l'accumulation mécanique des sables ou des galets :

Le *schiste argileux* des terrains de transition inférieurs et supérieurs, comprenant les formations silurienne et devonienne, depuis les couches inférieures du système silurien, qu'on nommait autrefois formation cambrienne, jusqu'à la couche la plus élevée du vieux grès rouge, ou de la formation devonienne, couche qui avoisine le calcaire de montagne.

Les *lits de charbon de terre*.

Les *calcaires* intercalés dans les formations de transition et dans les couches de charbon; le zechstein, le calcaire coquiller, la formation jurassique, la craie, et tous les terrains du groupe tertiaire qui ne peuvent être rangés ni parmi les grès, ni parmi les conglomérats.

Le *travertin*, le calcaire d'eau douce, les concrétions siliceuses des sources thermales, les formations qui se sont produites, non sous la pression de grandes masses d'eaux marines, mais presque à l'air libre, sur les bas-fonds des marais et des rivières.

Les *bancs d'infusoires*, donnée géologique d'une grande portée, en ce qu'elle nous révèle l'influence que l'activité organique de la nature a exercée sur la formation des terrains; c'est une découverte toute récente dont la science est redevable aux travaux de mon ingénieux ami Ehrenberg, l'un de mes compagnons de voyage.

Il semble que dans cet examen rapide, mais complet, des éléments minéralogiques de l'écorce terrestre, nous aurions dû placer, immédiatement après les roches simples de sédiment, les *conglomérats* et les *grès* qui sont aussi, du moins en partie, des sédiments séparés d'un milieu liquide, et qui alternent, dans les terrains de transition et dans les couches fossilifères, avec le schiste argileux et avec la craie. Mais les conglomérats et les grès ne se composent pas seulement des débris de roches d'éruption et de roches de sédiment; ils contiennent encore des détritus de gneiss, de micaschiste et d'autres masses

métamorphiques. Ces dernières roches doivent donc composer la troisième classe de formes fondamentales.

La roche endogène ou d'éruption (le granit, le porphyre et le mélaphyre) n'est point un agent exclusivement dynamique; non-seulement elle soulève ou ébranle les couches sur-jacentes, non-seulement elle les relève ou les repousse latéralement, mais encore elle modifie profondément les combinaisons chimiques de leurs éléments et la nature de leur tissu intérieur. Il en résulte des roches nouvelles, le gneiss, le micaschiste et le calcaire saccharoïde (marbre de Carrare et de Paros). Les anciens schistes de transition de formation silurienne ou devonienne, le calcaire bélemnitique de la Tarentaise, le *macigno* (grès calcaire), gris et terne, contenant des algues marines, qu'on rencontre dans l'Apennin septentrional, prennent souvent, après leur transformation, une structure nouvelle et un éclat qui les rendent presque méconnaissables. La théorie du métamorphisme a été fondée, du moment où l'on est parvenu à suivre pas à pas toutes les phases de la transformation, et à guider les inductions du géologue par les recherches directes du chimiste sur l'influence des degrés divers de fusibilité, de pression et de refroidissement. Lorsque l'étude des combinaisons de la matière est dirigée par une idée féconde (58), la chimie peut, de l'étroite enceinte du laboratoire, répandre une vive lumière dans le champ de la géognosie, vaste atelier de la nature où les forces souterraines ont formé et métamorphosé les couches terrestres. Mais si l'élément

matériel nous est bien connu aujourd'hui, il n'en est pas ainsi de la mesure des forces qui ont agi avec tant d'énergie dans le monde primitif. Sous peine de tomber dans des analogies trompeuses et de ne s'élever qu'à des vues rétrécies sur les grands phénomènes de la nature, l'observateur philosophe doit avoir sans cesse présentes à la pensée les conditions si complexes qui ont dû modifier autrefois les réactions chimiques. Sans doute les corps simples ont obéi, de tout temps, aux mêmes affinités; si donc il se rencontre encore quelques contradictions, le chimiste parviendra le plus souvent, j'en suis convaincu, à les faire disparaître, en remontant aux conditions primitives de la nature qui n'auraient point été reproduites identiquement dans ses travaux.

Des observations fort exactes, embrassant une grande étendue de terrain, montrent que les roches d'éruption ne se sont pas produites avec un caractère de violence et de bouleversement. On voit souvent, dans les contrées les plus opposées, le granit, le basalte ou la diorite exercer régulièrement, jusque dans les moindres détails, leur action transformatrice sur les strates du schiste argileux, sur celles du calcaire compacte, et sur les grains de quartz dont se compose le grès. Tandis qu'une roche endogène quelconque exerce partout le même mode d'action, les diverses roches de cette classe présentent, au contraire, des caractères très-différents. On retrouve, à la vérité, dans tous les phénomènes, les effets d'une chaleur intense; mais le degré de fluidité ou de ramollisse-

ment a varié singulièrement du granit au basalte; d'ailleurs les éruptions de granit, de basalte, de porphyre à pâte de grunstein, de serpentine, ont été accompagnées de sublimations dont la nature a changé suivant les époques géologiques. C'est ici le lieu de rappeler que les faits de *métamorphisme* ne sont pas limités aux phénomènes de simple *contact;* ils comprennent encore tous les phénomènes qui ont *accompagné* la sortie d'une masse d'éruption déterminée; car là où le contact immédiat n'a point lieu, la simple proximité d'une telle masse suffit déjà pour modifier la cohésion, la texture, la richesse en silice et la forme cristalline des roches préexistantes.

Toute roche d'éruption pénètre, en se ramifiant, dans d'autres masses également endogènes ou dans les strates sédimentaires; mais il existe, à cet égard, une différence capitale entre les roches plutoniques(59) (le granit, le porphyre, la serpentine) et les roches *volcaniques*, dans le sens le plus strict de ce mot (le trachyte, le basalte, la lave). Les roches dont la production volcanique actuelle paraît être un dernier effort de l'activité de notre globe, se présentent en coulées étroites, et ne forment une couche de quelque étendue que dans les bassins où plusieurs courants se sont réunis. Lorsqu'il a été possible de suivre les éruptions basaltiques à de grandes profondeurs, on les a toujours vues terminées par de minces filets. Près de Marksuhl (à 1 $\frac{1}{2}$ myriamètre d'Eisenach), à Eschwege (sur les bords de la Verra) et près de la pierre druidique de la route d'Hollert (Siegen), pour ne citer

ici que trois exemples pris dans notre patrie, le basalte, injecté par d'étroites ouvertures, a traversé le grès bigarré et la grauwacke, et, semblable à un pilier surmonté de son chapiteau, il s'est élargi en forme de coupe dont la masse est divisée tantôt en lames minces, tantôt en colonnes groupées. Il n'en est pas de même du granit, de la syénite, du quartz porphyroïde, de la serpentine, et de la série entière de ces roches non stratifiées, à texture massive, auxquelles on a donné le nom de roches *plutoniques*, par prédilection pour une nomenclature tirée de la mythologie. Sauf quelques rares filons, toutes ces roches ont surgi à l'état pâteux, et non point à l'état de fusion complète; non par d'étroites fissures, mais par de larges failles semblables à des vallées, et par des gorges d'une grande étendue. Elles ont été poussées de bas en haut, et non point injectées à l'état liquide; on ne les voit jamais en coulées étroites, comme la lave, mais en masses puissantes (60). Quelques groupes de dolérite et de trachyte semblent avoir possédé le même degré de fluidité que le basalte; d'autres groupes qui s'élèvent en masses considérables, sous forme de cloches ou de dômes sans cratères, paraissent être sortis à l'état de simple ramollissement. Certains trachytes sont disposés par lits comme le granit et le porphyre quartzeux; tels sont les trachytes de la chaîne des Andes, dont j'ai souvent remarqué l'analogie frappante avec les porphyres à pâte de grunstein et de syénite (argentifères et alors dépourvus de quartz).

En étudiant directement les modifications que la

chaleur fait subir au tissu et aux propriétés chimiques des roches (61), on a trouvé que les masses volcaniques (la diorite, le porphyre augitique, le basalte et la lave de l'Etna) fondues, puis refroidies, forment un verre noir à cassure homogène, si le refroidissement a été rapide, et une masse pierreuse de structure granulaire ou cristalline, si le refroidissement s'est opéré avec lenteur. Dans le dernier cas, les cristaux se forment dans des cellules et dans la masse même où ils sont empâtés. On a constaté que les mêmes matières pouvaient produire les composés les plus différents; ce fait est de la plus haute importance pour l'étude des roches d'éruption et des transformations auxquelles ces roches peuvent donner lieu. Par exemple, la chaux carbonatée, fondue sous une forte pression, ne perd point son acide carbonique; mais la masse refroidie devient du calcaire granulaire, du *marbre saccharoïde*. Tels sont les résultats obtenus par la voie sèche. Par la voie humide, il se produit du spath calcaire ou de l'aragonite, suivant que le degré de chaleur a été faible ou élevé (62), parce que les différences de température déterminent le mode d'agrégation des molécules qui s'unissent dans l'acte de la cristallisation, et influent sur la forme du cristal lui-même (63). En outre, il est telle circonstance où les molécules d'un corps peuvent acquérir une disposition nouvelle qui se manifeste par des propriétés optiques différentes, sans que le corps ait passé par l'état de fluidité (64). C'est ainsi que les phénomènes de la

dévitrification, de la production de l'acier par la fonte ou la cémentation, du passage du fer fibreux à l'état de fer granulaire par l'action de la chaleur (65), et peut-être sous l'influence de petits chocs réguliers et longtemps répétés, contribuent à éclaircir l'étude géologique du métamorphisme. La chaleur peut même produire, dans les corps cristallisés, des effets complétement opposés; car, depuis les beaux travaux de Mitscherlich (66), on sait que le spath calcaire se dilate suivant l'un de ses axes, tandis qu'il se contracte suivant l'autre.

Si nous descendons maintenant de ces considérations générales à quelques exemples particuliers, nous voyons d'abord le schiste transformé en ardoise d'un noir bleuâtre et brillant par le voisinage des roches plutoniques. Les plans de stratification sont alors interrompus par d'autres plans de division (joints) presque perpendiculaires aux premiers, indice certain d'une action postérieure à la métamorphose de la roche primitive (67). L'acide silicique qui a pénétré le schiste argileux, y produit des veines de quartz et le transforme, en partie, en pierre à aiguiser et en schiste siliceux (cette dernière roche est quelquefois carbonifère; elle peut alors donner naissance à des phénomènes galvaniques). Le schiste, au plus haut degré de *silicification* (68), devient une matière précieuse pour les arts; tel est le jaspe rubané qui s'est produit dans l'Oural, par l'éruption et le contact du porphyre augitique (Orsk), du porphyre dioritique (Auschkal) ou d'une masse arrondie d'hypersthène (Bogoslowsk).

Dans l'île d'Elbe (Monte-Serrato), d'après Frédéric Hoffmann, et en Toscane, d'après Alexandre Brongniart, le jaspe rubané s'est formé au contact du schiste avec l'euphotide et la serpentine.

Le contact et l'action plutonique du granit donnent au schiste argileux une texture grenue et le transforment en une masse granitoïde, c'est-à-dire en un mélange de feldspath et de mica où se trouvent empâtées de grandes parcelles de ce dernier minéral (69); ce genre de métamorphose a été observé par Gustave Rose et par moi dans l'intérieur de la forteresse de Buchtarminsk (Altaï) (70). « S'il est une hypothèse universellement admise en géognosie, dit Léopold de Buch, c'est celle qui attribue à l'action transformatrice du granit sur les couches siluriennes des terrains de transition, tout le gneiss compris entre la mer Baltique et le golfe de Finlande; elle a même, pour la plupart des géologues, la valeur d'une vérité démontrée. Dans les Alpes, au mont Saint-Gothard, la marne calcaire a été pareillement transformée, par le granit, en micaschiste d'abord et puis en gneiss (71). » La production du gneiss et du micaschiste sous l'influence du granit se remarque aussi dans le groupe oolithique de la Tarantaise (72), où l'on a trouvé des bélemnites dans des roches qui pourraient déjà passer pour du micaschiste, dans le groupe schisteux de la partie occidentale de l'île d'Elbe, non loin du cap Calamita, et dans le Fichtelgebirge de Baïreuth, entre Lomitz et Markleiten (73).

Nous avons dit que le jaspe, dont les masses consi-

dérables ne furent pas connues dans l'antiquité (74), avait été produit par l'action volcanique du porphyre augitique; une autre matière dont l'art ancien fit un grand et noble usage, le marbre granulaire (saccharoïde), doit être également considérée comme une couche de sédiment modifiée par la chaleur terrestre et par le voisinage d'une roche d'éruption. Cette dernière assertion est justifiée par l'analyse exacte des phénomènes qui naissent au contact des roches ignées, et par les recherches directes de sir James Hall sur la fusion des substances minérales; ces belles recherches, qui datent de plus d'un demi-siècle, jointes à l'étude approfondie des veines granitiques, ont singulièrement hâté les progrès de la géognosie moderne. Quelquefois l'action de la roche d'éruption s'arrête à une faible distance de la surface de contact, il se produit alors une transformation partielle qui s'étend dans la couche comme une sorte de pénombre, telle est la craie de Belfast (Irlande) traversée par des veines de basalte; telles sont les couches fossilifères de calcaire compact, partiellement infléchies par un granit syénitique, vers le pont de Boscampo, et à la cascade de Canzocoli (Tyrol), que le comte Marzari Pencati a rendue célèbre (75). Un autre mode de transformation est celui où toutes les couches du calcaire compact ont été entièrement changées en calcaire granulaire par l'action du granit, de la syénite ou du porphyre dioritique (76).

Qu'il me soit permis d'accorder ici une mention spéciale aux marbres de Paros et de Carrare, auxquels

les chefs-d'œuvre de la sculpture ont donné tant d'importance, et qui ont figuré si longtemps dans nos collections géologiques comme types des calcaires primitifs. Tantôt l'action du granit s'est exercée par la voie du contact immédiat, dans les Pyrénées, par exemple (77); tantôt elle s'est propagée à travers des couches intermédiaires de gneiss ou de micaschiste, comme sur le continent grec et dans les îles de la mer Egée. Dans les deux cas, les transformations des couches calcaires ont été synchroniques, mais elles ont procédé différemment. On a remarqué dans l'Attique, dans l'île d'Eubée et dans le Péloponnèse, que « le calcaire superposé au micaschiste est d'autant plus beau, d'autant plus cristallin que le micaschiste lui-même est plus pur, c'est-à-dire moins argileux. » Cette dernière roche, ainsi que des strates de gneiss, affleurent en beaucoup de lieux profonds de Paros et d'Antiparos (78). D'après le fondateur de l'école d'Elée, Xénophane de Colophon (79), qui pensait que la terre avait été recouverte autrefois par la mer, on aurait trouvé des fossiles marins dans les carrières de Syracuse, et l'empreinte « d'un petit poisson » (une sardine) au fond de celle de Paros; si cette assertion, rapportée par Origène, était exacte, on pourrait croire que certaines couches fossilifères n'ont subi qu'une métamorphose incomplète. Quant au marbre de Carrare (Luna), dont l'emploi remonte à une époque antérieure au siècle d'Auguste, et qui conservera le privilége de fournir à peu près exclusivement aux besoins de la statuaire, aussi longtemps que l'exploitation

des carrières de Paros restera négligée, c'est une couche, transformée par les actions plutoniques, du même grès calcaire (*macigno*) qui se montre dans les Alpes Apuanes, entre le micaschiste et le schiste talqueux (80). On a assigné une tout autre origine aux marbres de certaines localités : le calcaire granulaire se serait formé d'abord dans l'intérieur de la terre; puis, repoussé à la surface par le gneiss et la syénite, il aurait rempli des fissures, comme à Auerbach, sur le Bergstrasse (81); mais avant d'avoir étudié la question sur les lieux mêmes, je ne puis me permettre de prononcer à ce sujet.

De toutes les métamorphoses produites par une roche d'éruption sur les strates de calcaire compact, la plus remarquable est celle que Léopold de Buch a signalée dans les *masses dolomitiques*, surtout dans celles du Tyrol méridional et du versant italien de la chaîne des Alpes. Ce mode de transformation du calcaire procède des fissures dont il est traversé dans tous les sens. Partout les crevasses sont tapissées de cristaux rhomboïdes de magnésie; la formation tout entière n'est qu'une agglomération granulaire de cristaux de dolomie où l'on ne retrouve plus de traces de la stratification originaire, ni des fossiles qui y étaient primitivement contenus. Des feuilles de talc et des masses de serpentine sont disséminées çà et là dans la roche nouvelle. Dans la Fassathal, la dolomie s'élève verticalement en murailles polies d'une blancheur éblouissante, jusqu'à plusieurs milliers de pieds de hauteur. Elle forme des cimes aiguës, nombreuses,

très-rapprochées, mais qui ne se touchent point. Leur aspect rappelle le gracieux paysage de montagnes fantastiques dont Léonard de Vinci a orné le fond du portrait de Monna Lisa.

Les grands phénomènes géologiques que nous venons de décrire parlent à notre imagination autant peut-être qu'à notre intelligence; ils sont l'œuvre d'un porphyre augitique qui a soulevé, brisé, métamorphosé les couches sur-jacentes (82). L'illustre observateur qui a signalé la conversion du calcaire en dolomie, n'attribue pas ce phénomène à l'introduction d'une certaine quantité de talc provenant du porphyre noir; il le considère seulement comme une modification contemporaine de la projection de cette dernière roche à travers de larges fissures remplies de vapeurs. Mais, il faut le dire, on trouve aussi, en certains lieux, des lits de dolomie intercalés entre ceux du calcaire, et il reste à expliquer comment la transformation a pu s'opérer sans l'intervention d'une roche endogène. Quelles peuvent être, en effet, dans ces cas exceptionnels, les voies suivies par l'action plutonique? Faut-il abandonner déjà des théories si souvent éprouvées et se borner à répéter le vieil adage romain : « souvent la nature a suivi des voies différentes pour arriver aux mêmes fins? » Quoi! nous aurions constaté pas à pas, sur toute une contrée, dans des zones entières, l'accord de deux phénomènes; partout nous aurions vu la projection du mélaphyre accompagner la métamorphose du calcaire compact en une masse cristalline douée de nouvelles propriétés

chimiques, et, quand nous viendrions à rencontrer un lieu où le premier phénomène ferait défaut au second, il ne nous serait pas permis d'attendre que des observations ultérieures vinssent lever cette contradiction apparente, contradiction qui ne dépend peut-être, en dernière analyse, que d'une anomalie cachée dans les conditions sous lesquelles la cause principale exerce ordinairement son action? Autant vaudrait mettre en doute la nature volcanique et la fluidité ignée du basalte, parce qu'il s'est présenté, çà et là, quelques cas isolés où des veines de basalte ont pénétré un lit de charbon de terre, sans lui avoir enlevé une partie notable de son carbone; des couches de grès, sans leur avoir donné un aspect de fritte ou de scorie; des couches de calcaire, sans que la craie ait été convertie en marbre granulaire. En résumé, il serait imprudent d'abandonner le fil conducteur, ou, si l'on veut, le demi-jour qui nous guide dans l'obscure région des formations minérales, en se fondant sur ce qu'il reste quelques desiderata dans l'histoire de la transformation des roches, et dans celle des intercalations de certaines couches altérées au milieu de strates qui n'ont subi aucune métamorphose.

Après avoir décrit la transformation de la chaux carbonatée compacte en calcaire granulaire et en dolomie, il nous reste à parler d'un troisième mode d'altération que les vapeurs d'acide sulfurique, volcaniquement émises aux époques primitives, ont produit sur la même roche. Le gypse, né de cette réaction, offre de l'analogie avec les dépôts de sel gemme

et de soufre (ce dernier minéral a été abandonné par des vapeurs d'eau chargées de vapeurs sulfureuses). Sur les hautes Cordillères de Quindiu, loin de tout volcan, j'ai trouvé des dépôts de soufre qui s'étaient formés d'une manière analogue dans les fissures du gneiss, tandis qu'en Sicile, à Cattolica, près de Girgenti, le soufre, le gypse, et le sel gemme appartiennent aux plus récentes couches des terrains secondaires, c'est-à-dire aux terrains crayeux (83). J'ai vu, sur les bords du cratère du Vésuve, des fissures remplies de sel gemme en masses assez considérables pour donner lieu quelquefois à un commerce prohibé. Dans les Pyrénées, il est impossible de douter que l'apparition de la dolomie, du gypse et du sel gemme ne se rattache à celle des masses dioritiques (ou pyroxéniques?) (84). Tout, dans ces phénomènes, nous annonce l'action des forces souterraines sur les couches sédimentaires déposées par l'océan primitif.

Il est bien difficile d'assigner une origine aux puissantes assises de quartz pur qui forment l'un des traits caractéristiques des richesses minérales de la chaîne des Andes (85), dans l'Amérique du Sud. De Caxamarca à Guangamarca, en descendant vers la mer du Sud, j'ai trouvé des lits de quartz d'une puissance de deux à trois mille mètres; ces lits reposent tantôt sur du porphyre dépourvu de quartz, tantôt sur une diorite. Peut-être proviennent-ils de la transformation du grès, comme les lits de quartz du col de la Poissonnière (à l'est de Briançon), auxquels Élie de Beaumont attribue cette origine (86). Au Brésil,

dans les districts de diamant des provinces de Minas-Geraës et de Saint-Paul, qui ont été récemment étudiés avec soin par Clausen, les forces plutoniques des filons de diorite ont produit du mica commun et du fer spéculaire dans l'itacolumite quartzeux. Les diamants de Grammagoa sont renfermés dans des couches d'acide silicique solide ; quelquefois ils sont enveloppés par des feuilles de mica, tout comme les grenats du micaschiste. Les diamants les plus septentrionaux qu'on ait découverts depuis 1829 (par 58° de latitude nord, sur le versant européen de l'Oural) se trouvent en rapport géologique avec la dolomie noire carbonifère d'Adolfskoï (87), et avec le porphyre augitique; mais ces rapports n'ont pas encore été suffisamment éclaircis par de bonnes observations.

Enfin, il faut ranger au nombre des plus remarquables phénomènes de contact, la formation des grenats dans le schiste argileux en contact avec le basalte ou la dolérite (Northumberland, île d'Anglesey), et la production d'une grande quantité de beaux cristaux très-variés (le grenat, la vésuviane, l'augite et la ceylanite) qui se sont développés sur la surface de contact de roches d'éruption et de couches sédimentaires, ou à la jonction de la syénite de Monzon avec la dolomie et le calcaire compact (88). Dans l'île d'Elbe, des masses de serpentine, qui peut-être ne présentent nulle part aussi nettement le caractère de roches d'éruption, ont produit des sublimations de fer spéculaire et d'oxyde rouge de fer dans les fissures d'un grès calcaire (89). Nous voyons journellement

ce fer spéculaire se déposer ainsi aux bords du cratère et dans les coulées de laves récentes du volcan de Stromboli, du Vésuve et de l'Etna (90). Ces veines et ces filons que les forces volcaniques font naître sous nos yeux, dans des roches déjà parvenues à un certain degré de solidification, nous enseignent comment les filons métalliques et pierreux se sont formés, pendant les premiers âges géologiques, partout où l'écorce solide de notre planète, écorce alors peu épaisse, souvent ébranlée par les secousses, crevassée et fracturée en tous sens, par suite du refroidissement et du changement de volume, a présenté des communications nombreuses avec l'intérieur, et des issues multipliées aux vapeurs ascendantes, aux sublimations de toute espèce. La disposition des particules en couches parallèles aux salbandes, la répétition régulière des couches homologues dans les parties opposées de la veine (*le toit et le mur*), la cavité cellulaire allongée de la partie moyenne, font aussitôt reconnaître, dans un grand nombre de filons métallifères, l'acte plutonique de la sublimation. Comme les veines *pénétrantes* sont d'une origine plus nouvelle que les couches *pénétrées*, les gisements relatifs du porphyre et des formations argentifères des mines de Saxe, les plus riches de toute l'Allemagne, prouvent que ces formations sont au moins plus récentes que les souches d'arbres du terrain houiller et du nouveau grès rouge inférieur (Rothliegendes) (91).

Ce fut une inspiration bien féconde pour la théorie de la formation de l'écorce terrestre, et pour celle

du métamorphisme, que l'heureuse idée de comparer les minéraux naturels aux scories de nos hauts-fourneaux, et de chercher à les reproduire de toutes pièces (92). Toutes ces opérations nous offrent en effet le jeu des mêmes affinités qui déterminent les combinaisons chimiques, dans nos laboratoires comme dans le sein de la terre. On a retrouvé, parmi les minéraux formés artificiellement, les minéraux simples les plus importants dont les roches d'éruption plutoniques ou volcaniques et les roches métamorphiques se composent, non pas grossièrement imités, mais reproduits à l'état cristallin, avec la plus complète identité. Toutefois, il convient de distinguer les minéraux qui se sont accidentellement formés dans les scories, de ceux dont le chimiste s'est proposé la reproduction. Parmi les premiers, on compte le feldspath, le mica, l'augite, l'olivine, la blende, l'oxyde de fer cristallisé (fer spéculaire), l'oxyde de fer magnétique octaédrique et le titane métallique (93); parmi les seconds, le grenat, l'idocrase, le rubis (aussi dur que le rubis oriental), l'olivine et l'augite (94). Ces minéraux forment les parties constituantes du granit, du gneiss et du micaschiste, du basalte, de la dolérite et d'un grand nombre de porphyres. La reproduction artificielle du feldspath et du mica est particulièrement importante, en géologie, pour la théorie de la conversion du schiste argileux en gneiss. Le premier contient les éléments du granit, sans même en excepter la potasse (95). Il n'y aurait donc pas lieu de s'étonner si, comme l'a dit un ingénieux géologue, M. de

Dechen, il arrivait qu'un fragment de gneiss se formât un jour sur les parois d'un haut-fourneau bâti avec du schiste argileux et de la grauwacke.

Après avoir passé en revue, dans ces considérations générales sur la partie solide de l'écorce terrestre, les trois classes fondamentales de roches (les roches d'éruption, les roches de sédiment et les roches métamorphiques), il nous reste encore à nommer la quatrième et dernière classe qui comprend les *conglomérats* ou les roches *détritiques*. Ces noms mêmes rappellent les révolutions de la surface de la terre; ils rappellent aussi l'acte de la *cimentation* qui a consolidé, par l'intermédiaire de l'oxyde de fer ou de matières argileuses et calcaires, des amas de fragments arrondis ou à vives arêtes. Les conglomérats et les brèches, dans leur plus large acception, présentent les caractères d'une double origine. Les matériaux qui les composent mécaniquement n'ont pas été seulement accumulés par les vagues de la mer, ou par les eaux douces en mouvement; car il existe telle roche détritique dont la formation ne peut être attribuée à l'action des eaux. « Lorsque des îles de basalte ou des monts de trachyte ont été soulevés à travers de grandes fractures, il est résulté du frottement des masses ascendantes contre les parois des failles, que le basalte ou le trachyte se sont trouvés entourés de conglomérats formés aux dépens de leur propre matière. Les grains qui composent les grès d'un grand nombre de formations ont été détachés, plutôt par le frottement des roches d'éruption plutoniques ou vol-

caniques, que par la force d'érosion d'une mer voisine. L'existence de cette espèce de conglomérat, qu'on rencontre en masses énormes dans les deux hémisphères, révèle l'intensité de la force avec laquelle les roches d'éruption se sont fait jour à travers les couches solides de l'écorce terrestre. Les eaux se sont ensuite emparées de ces débris, et les ont disséminés par couches sur le fond même qu'ils recouvrent aujourd'hui (96). » On rencontre des formations de grès insérées entre toutes les couches, depuis les terrains siluriens de transition les plus bas, jusque dans les formations tertiaires, au-dessus de la craie. A la lisière des plaines immenses du Nouveau-Continent, en dedans et en dehors des tropiques, on voit ces assises de grès s'étendre en longues murailles, comme pour indiquer l'ancien rivage où les vagues de la mer sont venues se briser.

Au premier coup d'œil que l'on jette sur la distribution géographique des roches, et sur l'étendue que chacune d'elles occupe dans les parties accessibles de l'écorce du globe, on reconnaît que la substance la plus répandue est *l'acide silicique* ordinairement opaque et coloré. Immédiatement après l'acide silicique solide vient la chaux carbonatée; puis les combinaisons de l'acide silicique avec l'alumine, la potasse et la soude, avec la chaux, la magnésie et l'oxyde de fer. Les substances que nous comprenons sous le nom générique de *roches* sont des associations déterminées d'un nombre fort restreint de minéraux simples, auxquels viennent se joindre quelques autres miné-

raux parasites, mais toujours d'après certaines lois fixes. Ces éléments ne sont pas particuliers à telle ou telle roche ; ainsi le quartz (acide silicique), le feldspath et le mica, dont la réunion constitue essentiellement le granit, se retrouvent isolés ou combinés deux à deux, dans un grand nombre de formations différentes. Une citation suffira pour montrer combien les proportions de ces éléments peuvent varier d'une roche à l'autre, par exemple, d'une roche feldspathique à une roche micacée : Mitscherlich a fait voir que, si l'on ajoute au feldspath trois fois la quantité d'alumine, et le tiers de la proportion de silice qu'il renferme déjà, on obtient la composition chimique du mica. Ces deux minéraux contiennent de la potasse dont la présence dans un grand nombre de roches est un fait antérieur, sans aucun doute, à l'apparition des végétaux sur la terre.

L'ordre de superposition des strates sédimentaires, des couches métamorphiques et des conglomérats, la nature des terrains que les roches d'éruption ont atteints ou traversés, la présence des restes organiques et leurs différences de structure, tels sont les indices qui permettent de reconnaître l'âge relatif des formations successives ; tels sont les monuments de l'histoire du globe et les points de repère de sa chronologie que le génie de Hooke pressentit autrefois. L'application des moyens d'épreuve botaniques et zoologiques, à la détermination de l'âge des roches, a signalé l'ère la plus brillante de la géognosie moderne. Sous l'influence vivifiante des études paléontologiques,

la théorie des formations solides de l'écorce du globe s'est enfin dégagée, au moins sur le continent, de ses entraves originelles, pour revêtir un caractère tout nouveau de profondeur et de variété.

Les couches fossilifères sont les catacombes où gisent les *faunes* et les *flores* des époques antérieures. Lorsque nous descendons de couche en couche pour étudier leurs rapports de superposition, des mondes engloutis d'animaux et de végétaux s'offrent à nos yeux, et nous remontons en réalité dans la série des âges. Chaque cataclysme du globe, chaque soulèvement de ces chaînes de montagnes dont nous pouvons déterminer l'ancienneté relative, a été signalé par la destruction des espèces anciennes et par l'apparition de nouvelles organisations. Comme pour marquer la transition, quelques espèces anciennes ont subsisté, pendant un temps, au milieu des créations plus récentes. Cette dernière expression, disons-le en passant, accuse la limitation forcée de nos connaissances sur l'être, et dans le langage figuré qui nous sert à masquer cette limitation, nous appelons *créations nouvelles* le phénomène historique des variations qui surviennent par intervalles, soit dans les formes organiques, soit dans les bassins des mers primitives, soit dans les contours des continents soulevés. Souvent ces êtres organisés ont été conservés intacts jusque dans les moindres détails de leur tissu, de leurs cellules et de leurs divisions. On a trouvé, dans l'oolithe inférieure (lias de Lyme-Regis), une sépia si admirablement conservée, qu'on a pu tirer la couleur

destinée à en peindre l'image, de la matière noirâtre dont cet animal se servait, il y a des myriades d'années pour échapper à ses ennemis (97). Ailleurs, on ne retrouve que des vestiges : par exemple, les empreintes qu'un animal a laissées en courant sur une argile molle, ou les résidus de sa digestion (*coprolithes*). D'autres couches nous offrent seulement l'empreinte d'une coquille ; mais si cette coquille appartient à un *genre caractéristique* (98), il n'en faut pas davantage pour faire reconnaître aussitôt la formation où elle a été recueillie, et la nature des autres débris organiques qui y sont enfouis avec elle. La coquille que le voyageur rapporte de ses excursions nous raconte l'histoire des pays où elle a été trouvée.

L'étude analytique du règne animal et végétal du monde primitif a suivi une double direction ; il en est résulté deux sciences distinctes. L'une, purement morphologique, décrit les organismes et s'applique à leur physiologie ; elle cherche à combler, par les formations éteintes, les lacunes qui se présentent dans la série des êtres actuellement vivants. La seconde est plus spécialement géologique ; elle considère les restes fossiles dans leurs rapports avec les couches sédimentaires où on les rencontre et dont ils peuvent servir à fixer l'ancienneté relative. Longtemps la première a prédominé. En comparant d'une manière trop superficielle les espèces fossiles avec les espèces actuelles, on avait été conduit à une erreur dont les traces se retrouvent encore aujourd'hui dans les singulières dénominations qui furent imposées à cer-

tains corps de la nature. On voulait reconnaître les espèces vivantes parmi les organisations éteintes, tout comme, dans le XVIe siècle, on confondait, sur de fausses analogies, les animaux de l'ancien monde avec ceux du nouveau continent. Peter Camper, Sœmmering, Blumembach entrèrent les premiers dans une voie plus rationnelle ; à eux revient le mérite d'avoir appliqué les ressources de l'anatomie comparée, d'une manière vraiment scientifique, à la partie de la paléontologie (cette archéologie de l'organisation) qui s'occupe des ossements des grands animaux vertébrés. Mais ce sont les grands travaux de Georges Cuvier et d'Alexandre Brongniart qui ont fondé la géologie des fossiles par l'heureuse combinaison des types zoologiques avec l'ordre de succession et l'âge relatif des terrains.

Les plus anciennes couches sédimentaires et les terrains de transition présentent, dans les restes organiques qu'ils renferment, un mélange de formes très-diversement placées dans la série progressive des êtres. En fait de plantes, ces couches ne contiennent que de rares fucus, des lycopodiacées peut-être arborescentes, des équisétacées et des fougères tropicales ; mais parmi les organisations animales, nous rencontrons dans ces couches une association singulière de crustacés (des trilobites avec des yeux réticulaires), de brachiopodes (spirifères, orthis), d'élégants sphéronites qui se rapprochent des crinoïdes (99), d'orthocératites de la famille des céphalopodes, de polypiers pierreux ; puis, au milieu de ces organisations

inférieures, des poissons d'une forme étrange se trouvent déjà dans les couches supérieures du système silurien. La famille des céphalaspides aux lourds boucliers, dont certains fragments du genre ptérichtys ont été pris longtemps pour des trilobites, caractérisent exclusivement la formation devonienne (*Old red*); d'après Agassiz, cette famille constitue un type aussi nettement prononcé dans la série des poissons que les ichthyosaures et les plésiosaures parmi les reptiles (100). Les goniatites, de la tribu des ammonites (1), commencent également à se montrer dans le calcaire de transition, dans la grauwacke des couches devoniennes et même dans les dernières couches du système silurien.

On n'a pas réussi, jusqu'à présent, à reconnaître de relation bien certaine entre l'âge des terrains et la gradation physiologique des espèces qu'ils renferment, tant qu'il s'est agi des invertébrés (2); au contraire, cette dépendance se manifeste de la manière la plus régulière pour la classe des animaux à vertèbres. Parmi ceux-ci, les plus anciens, comme nous venons de le voir, sont les poissons; puis, en parcourant de bas en haut la série des formations, on trouve successivement les reptiles et les mammifères. Le premier reptile (un saurien du genre monitor, d'après Cuvier) se rencontre dans le schiste cuivreux du zechstein, en Thuringe; il avait déjà attiré l'attention de Leibnitz (3); suivant Murchison, le palæosaurus et le thecodontosaurus de Bristol sont de la même époque. Le nombre des sauriens va en augmentant dans le

calcaire coquillier (4), dans le keuper et dans la formation jurassique, où il atteint son maximum. A l'époque de cette formation, vivaient des plésiosaures au long cou de cygne formé de trente vertèbres, le megalosaurus, crocodilien gigantesque de 15 mètres de longueur; les os de ses pieds ressemblent à ceux d'un lourd mammifère terrestre; huit espèces d'ichthyosaures, le géosaurus ou la *Lacerta gigantea* de Sœmmering, enfin sept espèces de hideux ptérodactyles ou sauriens munis d'ailes membraneuses (5). Le nombre des sauriens semblables aux crocodiles diminue déjà dans la craie; on trouve cependant, dans cette formation, le *crocodile de Maestricht* (le mososaurus de Conybeare), et le colossal iguanodon, qui était peut-être herbivore. Selon Cuvier, les animaux aprartenant à l'espèce actuelle des crocodiles remontent presque dans la formation tertiaire; et même, l'*homme témoin du déluge* de Scheuchzer (*homo diluvii testis*), grande salamandre alliée à l'axolotl que j'ai rapportée des grands lacs situés autour de Mexico, appartient aux plus récentes formations d'eau douce de Œningen.

En cherchant à lire dans l'ordre de superposition des terrains l'âge relatif des fossiles qu'ils contiennent, on a découvert d'importantes relations entre les familles et les espèces (ces dernières toujours peu nombreuses) qui ont disparu, et les familles ou les espèces encore vivantes. Toutes les observations s'accordent sur ce point, que les faunes et les flores fossiles diffèrent d'autant plus des formes animales ou végétales actuelles que les formations sédimentaires où elles

gisent sont plus inférieures, c'est-à-dire plus anciennes. Ainsi, de grandes variations ont eu lieu successivement dans les types généraux de la vie organique; ces phénomènes grandioses, signalés d'abord par Cuvier (6), offrent des relations numériques, dont Deshayes et Lyell ont fait l'objet de leurs recherches, et qui déjà ont conduit ces deux savants à des résultats décisifs, surtout pour les fossiles si nombreux et si bien connus des formations tertiaires. Agassiz, qui a examiné 1700 espèces de poissons fossiles, et qui porte à 8000 le nombre des espèces actuelles, décrites ou conservées dans nos collections, affirme, dans son grand ouvrage, que, « sauf un seul petit poisson fossile, particulier aux géodes argileuses du Groenland, il n'a jamais rencontré, dans les terrains de transition ni dans les terrains secondaires et tertiaires, d'animal de cette classe qui fût identique avec un poisson actuellement vivant; » il ajoute cette importante remarque : « Déjà le tiers des fossiles du calcaire grossier et de l'argile de Londres appartient à des familles éteintes; sous la craie on ne trouve plus un seul genre de poisson de l'époque actuelle, et la singulière famille des *sauroïdes* (poissons dont les écailles sont recouvertes d'émail, qui se rapprochent presque des reptiles, et remontent de la formation carbonifère où gisent leurs plus grandes espèces, jusqu'à la craie où on en rencontre encore quelques individus) présente, avec deux espèces qui habitent aujourd'hui le Nil et certains fleuves de l'Amérique (le lepidosteus et le polypterus), les mêmes rapports qui existent entre

nos éléphants ou nos tapirs, et les mastodontes ou les anoplotherium du monde primitif (7). »

Quoi qu'il en soit, les belles recherches d'Ehrenberg ont prouvé que les couches de craie où gisent encore deux espèces de ces poissons sauroïdes, des reptiles gigantesques et tout un monde détruit de coraux et de coquilles, sont entièrement composées de polythalames microscopiques, dont un grand nombre vit aujourd'hui dans nos mers et même, sous les latitudes moyennes, dans la mer du Nord et dans la Baltique. Ainsi, en toute rigueur, le groupe tertiaire qui repose immédiatement au-dessus de la craie, groupe ordinairement nommé couches de la période *éocène*, ne mérite pas ce nom, « car l'aurore du monde où nous vivons s'étend bien plus avant dans les âges antérieurs qu'on ne l'a cru jusqu'à présent (8). »

Nous venons de voir que les plus anciens vertébrés, les poissons, se montrent dans toutes les formations, à partir des strates siluriennes de transition, jusqu'aux couches de l'époque tertiaire. De même, les sauriens commencent au zechstein. Si nous ajoutons que la formation jurassique (schiste de Stonesfield) nous présente les premiers mammifères [le thylacotherium Prevostii et t. Bucklandi, allié aux marsupiaux, d'après Valenciennes (9)], et que le premier oiseau a été trouvé dans le plus ancien dépôt de la formation crétacée (10), nous aurons indiqué les limites inférieures des quatre grandes divisions de la série des vertébrés. Tel est, sur ce point, l'état actuel de la paléontologie.

Quant aux animaux sans vertèbres, les coraux pierreux et les serpulites se trouvent, dans les plus anciennes formations, avec des céphalopodes et des crustacés d'une organisation très-élevée ; ainsi les ordres les plus différents de cette partie de la série animale sont confondus. Toutefois, on a pu découvrir des lois fixes pour beaucoup de groupes isolés appartenant à un même ordre. Des coquilles fossiles de même espèce, des goniatites, des trilobites, des nummulites, forment des montagnes entières. Là où différents genres sont mêlés, il existe souvent une relation régulière entre la série des organismes et celles des formations ; on a même observé que l'association de certaines familles et de certaines espèces suit une loi régulière dans les strates superposées dont l'ensemble constitue une même formation. C'est ainsi qu'après avoir classé les ammonites en familles bien définies, à l'aide de son ingénieuse loi de la disposition des lobes, Léopold de Buch a montré que les cératites appartiennent au muschelkalk (calcaire coquillier), les ariétes au lias, les goniatites au calcaire de transition et à la grauwacke (11). Les bélemnites ont leur limite inférieure (12) dans le keuper, situé au-dessous du calcaire jurassique, et leur limite supérieure dans la craie. On sait aujourd'hui que les eaux ont été habitées aux mêmes époques et dans les zones les plus éloignées par des testacés identiques, du moins en partie, aux fossiles de l'Europe. Par exemple, Léopold de Buch a signalé dans l'hémisphère austral (volcan de Maypo, Chili), des exogyres et des trigonies; d'Orbigny

a indiqué des ammonites et des gryphées de l'Himalaya et des plaines indiennes de Cutch, qui sont exactement de même espèce que celles de l'ancienne mer jurassique, en France et en Allemagne.

Les couches dont la nature a été déterminée par les fossiles ou par les galets qu'elles renferment, constituent un *horizon géologique* d'après lequel l'observateur indécis peut s'orienter et reconnaître l'*identité* ou l'*ancienneté* relative des formations, la *répétition* périodique de certaines couches, leur *parallélisme* ou leur *suppression* complète. Lorsque l'on veut embrasser ainsi, dans toute sa simplicité, le type général de la formation sédimentaire, on rencontre successivement en allant de bas en haut :

1° Le *terrain de transition*, divisé en grauwacke inférieure et supérieure ou en systèmes silurien et devonien; le dernier portait autrefois le nom de vieux grès rouge ;

2° Le *trias inférieur* (13), comprenant le calcaire de montagne, les terrains houillers, le nouveau grès rouge inférieur (todtliegendes), et le calcaire magnésien (zechstein);

3° Le *trias supérieur*, comprenant les grès bigarrés (14), le calcaire coquillier et le keuper ;

4° Le calcaire jurassique (lias et oolithe) ;

5° Le *grès massif* (quadersandstein), la craie inférieure et supérieure, ainsi que les dernières couches qui commencent au calcaire de montagne ;

6° Les *formations tertiaires*, comprenant trois subdivisions caractérisées par le calcaire grossier, le

charbon brun ou lignite, et les graviers sub-apennins.

Puis viennent les terrains de transport (alluvium), contenant les ossements gigantesques des mammifères de l'ancien monde, tels que les mastodontes, le dinotherium, le missurium et les mégathérides; parmi ces derniers, on remarque le mylodon d'Owen, espèce de paresseux long de 3 mètres et demi. A ces espèces éteintes viennent se joindre les restes fossilisés d'animaux dont les espèces vivent encore aujourd'hui: l'éléphant, le rhinocéros, le bœuf, le cheval et le cerf. Il y a, près de Bogota, à 2660 mètres au-dessus du niveau de la mer, un champ rempli d'ossements de mastodontes (*campo de gigantes*), dans lequel j'ai fait exécuter des fouilles avec le plus grand soin (15); quant aux ossements du plateau mexicain, ils appartiennent à certaines races éteintes de véritables éléphants. Les contre-forts de l'Himalaya (les collines de Sewalik, qui ont été étudiées avec tant de zèle par le capitaine Cautley et le docteur Falconer), renferment également de nombreux mastodontes; on y trouve aussi le sivatherium et la gigantesque tortue terrestre, longue de 4 mètres, haute de 2 mètres (colossochelys); puis des débris appartenant à des espèces actuellement vivantes, des éléphants, des rhinocéros, des girafes, et, chose remarquable, ces fossiles appartiennent à une zone où domine encore aujourd'hui le climat tropical que l'on croit avoir régné à l'époque des mastodontes (16).

Après avoir ainsi comparé la série des formations

inorganiques dont l'écorce terrestre se compose, avec les restes organisés qu'elles renferment, il nous reste à esquisser le règne végétal des mondes primitifs et à montrer comment l'agrandissement de la terre ferme et les modifications de l'atmosphère ont amené le développement des flores successives. Comme on l'a vu déjà, les plus anciennes couches de transition ne renferment que des plantes marines à feuilles cellulaires; les strates devoniennes (17) sont les premières où l'on trouve quelques formes cryptogames de plantes vasculaires (calamites, lycopodiacées). On avait cru pouvoir conclure de certaines vues théoriques sur *la simplicité des formes primitives des êtres organisés*, que la vie végétale avait précédé la vie animale, et que la première était la condition nécessaire du développement de la seconde. Mais aucun fait ne paraît justifier cette hypothèse; d'ailleurs, les races humaines qui ont été refoulées autrefois dans les contrées glaciales du pôle arctique, se nourrissent exclusivement de poissons et de cétacés, et prouvent, par le fait même de leur existence, qu'à la rigueur les substances végétales ne sont pas indispensables à la vie animale. Après les couches devoniennes et le calcaire de montagne, vient une formation dont l'analyse botanique a fait de brillants progrès dans ces derniers temps (18). Le *terrain houiller* comprend non-seulement des plantes cryptogames analogues aux fougères et des monocotylédones phanérogames (des gazons, des liliacées anologues aux yucca, et des palmiers), mais

encore des dicotylédones gymnospermes (conifères et cycadées). On connaît déjà près de quatre cents espèces de la flore du terrain houiller. Nous nous bornerons à citer les calamites et les lycopodiacées arborescentes, des lépidodendron squammeux, des sigillaria de vingt mètres de longueur, quelquefois debout et enracinés ; ces derniers se distinguent par un double système de fascicules vasculaires; des stigmaria semblables aux cactus; un nombre immense de frondes de fougères souvent accompagnées de leurs troncs et dont l'abondance prouve que la terre ferme des époques primitives était purement insulaire (19); des cycadées (20) et surtout des palmiers (21) en moindre nombre que les fougères; des astérophyllites aux feuilles verticillaires, alliées aux naïades; des conifères semblables à certains pins du genre araucaria (22) avec de faibles vestiges d'anneaux annuels. Tout ce règne végétal s'est largement développé sur les parties soulevées et mises à sec du vieux grès rouge, et les caractères qui le distinguent du monde végétal actuel se sont maintenus, à travers les périodes suivantes, jusqu'aux dernières couches de la craie. Mais la flore aux formes si étranges des terrains houillers présente sur tous les points de la terre primitive (dans la Nouvelle-Hollande, au Canada, au Groenland comme dans les îles Melville) une uniformité frappante dans les genres, sinon dans les espèces (23).

Un des caractères principaux de la flore primitive est de nous offrir des formes végétales dont l'analogie avec de nombreuses familles du monde actuel

prouve qu'en elles ont péri des membres nombreux de la série organique. Ainsi, pour nous borner à deux exemples, les espèces de lépidodendron viennent se placer, d'après Lindley, entre les conifères et les lycopodites (24); au contraire, les araucarites et les pinites présentent quelque chose d'étranger dans la réunion de leurs fascicules vasculaires. Même en restreignant nos aperçus au monde actuel, nous ne saurions refuser une haute signification à la découverte de cycadées et d'arbres à racines pivotantes (conifères) dans la flore du terrain houiller, à côté de sagenaria et de lepidodendra. En effet, les conifères n'ont pas seulement de l'analogie avec les cupulifères et les bétulinées dont ils sont accompagnés dans la formation à lignites, ils en ont aussi avec les lycopodites. La famille des cycadées se rapproche des palmiers pour le port et l'aspect extérieur, tandis qu'elle ressemble essentiellement aux conifères quant à la structure des fleurs et des graines (25). Là où plusieurs lits de charbon de terre sont superposés, les végétaux ne sont point répartis confusément, sans distinction de genres ni d'espèces; le plus souvent ils y sont disposés par genres, de telle sorte que les lycopodites et certaines fougères se trouvent dans une couche, les stigmaria et les sigillaria dans une autre couche. Pour se faire une idée du degré de développement que la vie végétale avait pris dans le monde primitif, et de la masse de végétaux accumulés en certains lieux par les courants et transformés ensuite en charbon par la voie humide (26), il faut

se rappeler les houillères de Saarbruck, où l'on voit cent vingt lits de charbon superposés, sans compter un grand nombre d'autres couches moins épaisses, dont la puissance ne dépasse pas un tiers de mètre ; il faut se rappeler qu'il y a des lits de charbon de terre de dix mètres et même de seize mètres de puissance, par exemple à Johnstone (Écosse) et au Creuzot (Bourgogne) ; tandis que les arbres qui couvrent une surface donnée dans les régions forestières de nos zones tempérées, formeraient à peine, en cent ans, sur cette surface, une couche de carbone de seize millimètres d'épaisseur (27). Près de l'embouchure du Mississipi et sur les bords de la mer Glaciale où l'amiral Wrangel a vu et décrit les *montagnes de bois*, on trouve encore aujourd'hui des amas considérables de troncs d'arbres charriés par les fleuves et par les courants de la mer ; ces couches de *bois flotté* peuvent donner une idée de ce qui a dû se passer dans les eaux intérieures et dans les baies insulaires du monde primitif. Ajoutons que les couches carbonifères doivent une partie considérable de la matière dont elles sont formées, non pas à de grands arbres, mais à des masses de gazon mêlées d'arbustes rameux et de petits cryptogames.

Nous venons de dire que les palmiers et des conifères se trouvent réunis dans le terrain houiller ; leur association se reproduit dans toutes les formations et se continue bien avant dans la période tertiaire. Aujourd'hui, on dirait qu'ils se fuient. Nous sommes tellement habitués, quoique sans raison, à considérer

les conifères comme une essence septentrionale, que je fus moi-même surpris de rencontrer une épaisse forêt de pins (*Pinus occidentalis*, semblable au pin de lord Weimouth) entre la Venta de la Coxonera et l'Alto de los Coxones, à douze cents mètres au-dessus du niveau de la mer. Je montais alors, des côtes de la mer du Sud, vers Chilpansingo et les hautes vallées du Mexique; il me fallut un jour entier pour traverser cette singulière forêt, dans laquelle les arbres à pivots étaient entremêlés de palmiers à éventail (*corypha dulcis*) (28), couverts de perroquets diversement colorés. L'Amérique du Sud produit des chênes, mais elle ne nourrit pas une seule espèce de pin, et la première fois qu'un sapin s'y offrit à mes yeux comme un souvenir de ma patrie, il était situé près d'un palmier à éventail. De même, Christophe Colomb, pendant son premier voyage de découverte, aperçut des conifères et des palmiers entremêlés à la pointe orientale du nord de Cuba (29), par conséquent entre les tropiques, mais à peine au-dessus du niveau de la mer. Cet homme profond, auquel rien n'a échappé, parle de ce fait dans son journal de voyage comme d'une singularité, et son ami Anghiera, le secrétaire de Ferdinand le Catholique, rapporte avec étonnement « qu'on trouve à la fois des pins et des palmiers dans le pays nouvellement découvert. » Il est d'un grand intérêt, pour la géologie, de comparer la distribution actuelle des plantes sur la surface de la terre avec la géographie des flores éteintes. La zone tempérée de l'hémisphère

austral, dont Darwin a décrit avec tant d'art (30) les îles nombreuses, les eaux abondantes et la merveilleuse végétation qui tient à la fois de la flore des tropiques et de celle des pays froids, offre les exemples les plus instructifs pour la géographie des plantes modernes et pour celle des plantes primitives. Or cette dernière est, sans aucun doute, une branche importante de *l'histoire du règne végétal.*

Les cycadées qui, d'après le nombre des espèces fossiles appartenant à cette tribu, durent jouer dans le monde primitif un plus grand rôle que dans le monde actuel, accompagnent leurs alliés les conifères à partir de l'époque où se sont formés les lits de charbon. Elles manquent presque entièrement dans la période des grès bigarrés; mais aussi certains conifères (*Voltzia*, *Haidingera*, *Albertia*) se sont puissamment développés dans cette période. Les cycadées atteignent leur maximum dans le keuper et dans le lias, où l'on en a trouvé vingt espèces distinctes. Dans la craie, ce sont des plantes marines et des naïades qui prédominent. Ainsi, les forêts de cycadées de la formation jurassique ont disparu depuis longtemps, et même dans les plus anciens groupes de la formation tertiaire, on les trouve reléguées bien au-dessous des conifères et des palmiers (31).

Les *lignites* ou les couches de *charbon brun*, que l'on retrouve dans chaque division de la période tertiaire, contiennent, au milieu des plus anciens cryptogames terrestres, quelques palmiers, un grand

nombre de conifères avec des anneaux annuels bien marqués, et des arbustes rameux d'un caractère plus ou moins tropical. La période tertiaire moyenne est signalée par le retour des palmiers et des cycadées. Enfin la végétation de la dernière période offre une grande analogie avec la flore actuelle. Nos pins et nos sapins, nos cupulifères, nos érables et nos peupliers y apparaissent sans transition, dans toute la plénitude de leurs formes. Les troncs de dicotylédonées, enfouis dans les lignites, se distinguent quelquefois par leurs énormes dimensions et par leur grand âge. Nœggerath a trouvé, près de Bonn, un de ces troncs sur lequel il a compté 792 anneaux annuels (32); dans la France septentrionale, à Yseux (près d'Abbeville), on a découvert, dans les tourbières de la Somme, un chêne de quatre mètres et demi de diamètre, épaisseur extraordinaire pour les régions extra-tropicales de l'ancien continent. D'après les recherches de Gœppert (il faut espérer que ces beaux travaux paraîtront bientôt avec des planches explicatives), « tout l'ambre de la Baltique provient d'un conifère qui, à en juger par les fragments de bois et d'écorce de divers âges, devait former une *espèce particulière* assez semblable à nos sapins blancs et rouges. L'*arbre à ambre* du monde primitif (pinites succifer) était plus résineux qu'aucun conifère du monde actuel; non-seulement la résine y est placée, comme dans ces derniers, sur l'écorce et à l'intérieur de l'écorce, mais encore dans le bois lui-même dont on distingue très-nettement, au microscope, les cel-

lules et les rayons médullaires remplis de succin; cette résine forme aussi de grandes masses blanches et jaunes entre les anneaux concentriques du ligneux. Parmi les matières végétales enchâssées dans l'ambre, on a trouvé des fleurs mâles et femelles de cupulifères et d'arbres indigènes à feuilles aciculaires; mais des fragments très-reconnaissables de *thuja*, de *cupressus*, d'*ephedera* et de *castania vesca*, mêlés aux fragments de nos sapins et de nos genévriers, accusent une végétation différente de celle qui règne maintenant sur le littoral de la mer Baltique et de la mer du Nord. »

Nous venons de parcourir, dans la partie géologique du tableau de la nature, toute la série des formations, depuis les roches d'éruption et les couches sédimentaires les plus anciennes, jusqu'au terrain de transport sur lequel gisent les blocs erratiques. On a supposé que ces blocs avaient été transportés par des glaciers ou par des montagnes de glace flottantes; nous y verrions plutôt un effet de la chute impétueuse des eaux, retenues d'abord dans des réservoirs naturels, et déchaînées ensuite par le soulèvement des montagnes (33). Au reste, l'origine de ces masses isolées, dont nous ne parlons ici que d'une manière incidente, sera longtemps encore un sujet de discussion. Les plus anciens membres de la formation de transition sont le schiste et la grauwacke, où se trouvent quelques plantes marines provenant de la mer silurienne, nommée naguère mer cambrienne. Ces *terrains primaires*, comme on les appelle, reposent sur le gneiss et le micaschiste;

mais si ces deux roches doivent être considérées elles-mêmes comme des couches sédimentaires transformées, sur quelles bases se sont donc déposés les plus anciens sédiments? Ici notre moyen d'investigation, l'observation directe, nous échappe, et nous sommes abandonnés aux conjectures. Suivant un mythe de la cosmogonie indienne, la terre est portée par un éléphant; l'éléphant lui-même, afin qu'il ne tombe pas, est porté à son tour par une tortue gigantesque; mais il n'est pas permis aux crédules brahmines de demander ce qui soutient la tortue. Nous abordons ici un problème pareil, aussi devons-nous nous attendre à ce que notre solution n'échappe point aux critiques. On a vu, dans la partie astronomique de cet ouvrage, comment notre planète s'est formée aux dépens de l'atmosphère primitive du Soleil; il est vraisemblable que la matière nébuleuse des anneaux séparés de cette atmosphère et circulant autour du Soleil, s'est agglomérée en sphéroïde; puis la condensation s'est opérée successivement, en procédant des couches extérieures vers le centre; enfin une première écorce solide s'est formée. Les couches supérieures de cette écorce constituent ce que nous nommons les plus anciennes couches siluriennes. Les roches d'éruption qui ont traversé et soulevé ces couches surgirent de profondeurs inaccessibles pour nous. Elles existaient donc déjà toutes formées, au-dessous du système silurien, semblables à ces roches que nous voyons çà et là apparaître à la surface et que nous avons nommées granit, roche augitique, ou porphyre quartzeux. Guidés par

l'analogie, nous pouvons admettre que les matières qui ont pénétré les strates sédimentaires et qui en ont comblé les fissures, sont de simples ramifications d'une assise inférieure. Les foyers des volcans encore actifs sont situés à des profondeurs énormes, et si j'en juge par les fragments incrustés dans la lave des volcans que j'ai étudiés sous les zones les plus diverses, je dois croire qu'une roche granitique primitive forme le support (34) de tout l'édifice des couches superposées dont se compose l'écorce terrestre. S'il est vrai que le basalte composé d'olivine ne se montre pas avant la période crétacée, si les trachytes ont paru encore plus tard, il n'est pas moins certain que les éruptions granitiques appartiennent à l'époque des plus anciennes couches sédimentaires ; la preuve en est écrite jusque dans la métamorphose de ces dernières couches. Nous avons comparé tous ces faits avec soin ; mais puisque l'objet de nos recherches échappe au contrôle des sens, nous avons dû nous résoudre à prendre l'analogie pour guide et à raisonner par induction : c'est ainsi que nous avons tenté de restituer au vieux granit une partie de ses droits contestés au titre de *roche primordiale.*

Les progrès récents de la géognosie nous permettent de concevoir comment la détermination des *époques géologiques* à l'aide des caractères fournis soit par la composition minéralogique des terrains, soit par la série des organismes dont ils contiennent les restes, soit par le mode de stratification des couches redressées, contournées ou horizontales, peut conduire, à

travers l'enchaînement intime des phénomènes, à l'étude de la *répartition des masses solides et liquides*, des continents et des mers qui forment l'écorce de notre planète. C'est qu'en effet il existe un point de contact entre l'histoire des révolutions du globe et la description de sa surface actuelle, entre la géologie et la géographie physique; ces deux sciences concourent à fonder la doctrine générale de la forme et du partage des continents. Les contours qui séparent la terre ferme de l'élément liquide, et les rapports d'étendue de leurs surfaces respectives ont singulièrement varié dans la longue série des époques géologiques. Ils ont varié quand le charbon de terre formait ses lits horizontaux sur les couches redressées du calcaire de montagne et du vieux grès rouge. Ils ont varié encore lorsque le lias et l'oolithe se déposaient sur les assises du keuper et du calcaire coquillier, ou quand la craie se précipitait sur les pentes du sable vert et du calcaire jurassique. Si nous donnons, avec Élie de Beaumont, les noms de *mer jurassique* et de *mer crétacée* aux eaux dont l'oolithe et la craie se sont séparées en formant des dépôts limoneux, nous reconnaissons aussitôt que les limites de ces deux formations indiquent, pour les époques géologiques correspondantes, la ligne de démarcation entre la terre ferme et les eaux d'un océan alors en voie d'engendrer une partie solide de l'écorce terrestre. On a eu l'ingénieuse idée de dessiner la carte de cette partie de la géographie primitive: carte plus sûre peut-être que celles des voyages d'Io et de l'Odyssée d'Homère; car, dans celles-ci, ce

sont des opinions ou des mythes, dans les premières, ce sont les faits positifs de la géologie qu'il s'agit de représenter graphiquement.

Voici le résultat des recherches que l'on a faites dans le but de déterminer l'étendue de la terre ferme à différentes époques. Dans les temps les plus anciens, pendant les périodes de transition silurienne et devonienne, et vers les premières formations secondaires, y compris le trias, le sol continental consistait exclusivement en îles détachées recouvertes de végétaux. Dans les périodes suivantes, ces îles se sont reliées les unes aux autres, de manière à former des lacs nombreux et des golfes profondément découpés. Enfin, lorsque les chaînes des Pyrénées, des Apennins et des monts Karpathes furent soulevées, par conséquent vers l'époque des premiers terrains tertiaires, les grands continents apparurent presque sous la forme qu'ils ont à présent. Dans le monde silurien, et à l'époque où régnèrent les cycadées et les sauriens gigantesques, l'étendue des terrains émergés fut certainement moindre, d'un pôle à l'autre, qu'elle ne l'est aujourd'hui dans la mer du Sud et dans l'océan Indien. Nous verrons plus tard comment cette prépondérance de l'élément liquide a pu concourir, avec d'autres causes, à régulariser les climats et à maintenir une haute température. Ici, il est nécessaire d'ajouter, pour achever de décrire l'agrandissement (agglutination) successif des terres émergées, que, peu de temps avant les cataclysmes qui ont amené, par intervalles plus ou moins longs,

la destruction subite d'un si grand nombre de vertébrés gigantesques, une partie des masses continentales offrait déjà les divisions actuelles. Cette ressemblance s'étendrait même plus loin, d'après la grande analogie qui règne, dans l'Amérique du Sud et dans les terres australes, entre les animaux indigènes actuels et les espèces éteintes. On a trouvé, par exemple, dans la Nouvelle-Hollande, des restes fossiles de kangourous, et dans la Nouvelle-Zélande, les os à demi-fossilisés d'un oiseau gigantesque, semblable à l'autruche, le dinornis d'Owen, allié à l'apteryx actuel, mais différant un peu du dronte (dodo) de l'île Rodriguez, dont l'espèce a disparu fort tard.

Nos continents doivent peut-être leur hauteur au-dessus du niveau général des eaux ambiantes à l'éruption du porphyre quartzeux qui a si violemment bouleversé la première grande flore terrestre et les strates du terrain houiller. Les parties unies des continents auxquelles nous donnons le nom de plaines, ne sont en réalité que les croupes extrêmement larges de collines et de montagnes dont les pieds gisent au niveau du fond de la mer; en d'autres termes, chaque plaine est un plateau par rapport au sol sous-marin. Les inégalités primitives de ces plateaux ont été nivelées par les couches sédimentaires, puis elles ont été recouvertes par les terrains d'alluvion.

Cette partie du tableau de la nature se compose d'une série de considérations générales dont l'ordre n'est point arbitraire. En première ligne doit figurer l'évaluation de la quantité des terres soulevées au-

dessus du niveau de la mer. Ensuite vient l'examen de la *configuration* particulière de chaque grande masse dans le *sens horizontal* (forme articulée des continents), et dans le *sens vertical* (hypsométrie des chaînes de montagnes). Enfin le tableau se complète par la description des deux enveloppes que notre planète possède; l'une est *générale :* c'est l'atmosphère composée de fluides élastiques; l'autre est *locale*, c'est-à-dire restreinte à certaines régions : c'est la mer qui délimite la terre ferme et en détermine la figure. Ces deux enveloppes de notre globe, l'air et l'eau, constituent un ensemble naturel. Elles dispensent, à la surface de la terre, la variété des climats, d'après les rapports d'étendue superficielle de la terre et de la mer, d'après la forme articulée et l'orientation des continents, d'après la hauteur et la direction des chaînes de montagnes. Il résulte de cette action réciproque de l'air, de la mer et de la terre ferme, que les grands phénomènes météorologiques ne sauraient être compris sans le secours de la géognosie. Aussi la météorologie, la géographie des plantes et celle des animaux n'ont elles fait de véritables progrès qu'à dater de l'époque où cette dépendance mutuelle a été nettement reconnue. Il est vrai que le mot *climat* désigne une constitution particulière de l'atmosphère; mais cette constitution est elle-même soumise à la double influence de la *mer*, sillonnée à la surface et dans ses profondeurs de courants doués de températures très-diverses, et de la *terre ferme* dont la surface articulée, accidentée, colorée de mille manières,

tantôt nue, tantôt recouverte de forêts ou de gazons, rayonne le calorique avec une intensité extrêmement variable.

Dans l'état actuel de la surface de notre planète, la surperficie de la terre ferme est à celle de l'élément liquide dans le rapport de 1 à 2 $\frac{4}{5}$, ou, d'après Rigaud (35), dans le rapport de 100 à 270. Les îles réunies égaleraient à peine la vingt-troisième partie des masses continentales; elles sont réparties d'une manière si peu régulière, qu'elles occupent, sur l'hémisphère boréal, trois fois plus de surface que sur l'hémisphère austral. Depuis le 40e degré de latitude sud jusqu'au pôle antarctique, l'écorce terrestre est presque entièrement couverte d'eau; l'hémisphère austral est donc essentiellement océanique. L'élément liquide prédomine également dans l'espace compris entre les côtes orientales de l'Ancien Continent et les côtes occidentales du Nouveau-Monde; là, il n'est interrompu que par de rares archipels, et sous les tropiques, il règne sur 145 degrés de longitude; aussi le savant hydrographe Fleurieu a-t-il très-justement donné à ce large bassin le nom de *Grand Océan*, afin de le distinguer de toutes les autres mers. L'hémisphère austral et l'hémisphère occidental (occidental en comptant ici à partir du méridien de Ténériffe) sont les régions du globe les plus abondamment pourvues d'eau.

Telles sont les principales données dont il faut tenir compte quand il s'agit de comparer les superficies respectives de la terre ferme et de la mer, et d'étu-

dier l'influence que ces rapports exercent sur la distribution des températures, les pressions variables de l'atmosphère, la direction des vents, l'état hygrométrique de l'air, et, par suite, sur le développement de la végétation. Si l'on considère que l'eau recouvre près des trois quarts de la surface totale du globe (36), on s'étonnera moins de l'imperfection où est restée la météorologie jusqu'au commencement de ce siècle; car c'est seulement à partir de cette époque que l'on a commencé à recueillir et à discuter une masse considérable d'observations exactes sur la température de la mer, à différentes latitudes, et dans différentes saisons de l'année.

Déjà dans l'antiquité, les philosophes grecs spéculaient sur la configuration horizontale de la terre ferme. On cherchait alors quelle était l'étendue maximum dans le sens de l'ouest à l'est, et, d'après le témoignage d'Agathémère, Dicéarque avait trouvé ce maximum sous la latitude de Rhodes, dans la direction des colonnes d'Hercule à Thiné. C'est cette ligne que l'on nomme le *parallèle du diaphragme de Dicéarque*; l'exactitude de sa position astronomique, discutée par moi dans un autre ouvrage, peut à bon droit exciter l'étonnement (37). Guidé sans doute par les idées d'Ératosthène, Strabon paraît avoir été si fermement persuadé que le 36e degré, à titre de maximum d'étendue linéaire dans le monde alors connu, devait être en rapport intime avec la figure de la terre; que ce fut précisément sous ce degré, entre l'Ibérie et les côtes de Thiné, qu'il plaça la terre ferme

dont il annonça prophétiquement l'existence (38).

Si, comme nous l'avons remarqué plus haut, l'étendue des terres émergées est beaucoup plus grande sur l'un des hémisphères que sur l'hémisphère opposé (et cela a lieu quand on divise le globe suivant l'équateur, ou suivant le méridien de Ténériffe), il est facile de reconnaître qu'il existe bien d'autres contrastes entre les deux continents, l'ancien et le nouveau, véritables îles entourées de tous côtés par l'Océan. Leurs configurations générales et les directions de leurs grands axes sont totalement différentes. Le continent oriental est dirigé en masse de l'ouest à l'est, ou plus exactement du sud-ouest au nord-est, tandis que le continent occidental suit un méridien; il court du sud au nord (plus exactement du S. S. O. au N. N. O.). Malgré ces différences saillantes, on aperçoit aussi quelques analogies, surtout dans la configuration des côtes opposées. Au nord, les deux continents sont coupés dans la direction d'un parallèle (celui de 70°). Au sud, ils se terminent tous deux en pointe ou en pyramide, avec des prolongements sous-marins, signalés par la saillie d'îles et de bancs; l'archipel de la Terre de Feu, le banc Lagullas, au sud du cap de Bonne-Espérance, la Terre de Van-Diemen, séparée de la Nouvelle-Hollande (Australie) par le détroit de Bass, ne sont pas autre chose. La plage septentrionale de l'Asie dépasse le parallèle dont nous venons de parler; vers le cap Taimoura, elle atteint 78° 16′ de latitude, d'après Krusenstern; mais depuis l'embouchure de la grande rivière

de Tschoukotschja, jusqu'au détroit de Behring, le promontoire oriental de l'Asie ne dépasse point 63° 3′, d'après Beechey (39). Le rivage septentrional du Nouveau Continent suit assez exactement le parrallèle de 70° ; car au sud et au nord du détroit de Barrow, de Boothia-Felix, et de la Terre de Victoria, toutes les terres ne sont que des îles détachées.

La forme pyramidale des extrémités méridionales de tous les continents rentre dans la catégorie de ces *similitudines physicæ in configuratione mundi*, sur lesquelles Bacon a tant insisté dans le *Novum Organon*, et que l'un des compagnons de Cook, Reinhold Forster, a pris pour texte de considérations ingénieuses. Si on marche vers l'est, en partant du méridien de Ténériffe, on voit les pointes de trois continents, celle de l'Afrique (extrémité de tout l'ancien monde), celles de l'Australie et de l'Amérique méridionale, se rapprocher graduellement du pôle Sud. La Nouvelle-Zélande, longue de douze degrés de latitude, forme un membre intermédiaire entre l'Australie et l'Amérique du Sud ; elle se termine également au sud par une île (New-Leinster). Il est aussi bien remarquable que les saillies des continents vers le nord et leurs prolongements vers le sud soient situés presque sur les mêmes méridiens : ainsi le cap de Bonne-Espérance et le banc Lagullas sont situés sur le méridien du cap Nord ; la péninsule de Malacca, sur celui du cap Taïmoura en Sibérie (40). Quant aux pôles mêmes, on ignore s'ils sont placés sur la terre ferme ou au

milieu d'un océan couvert de glace. Au nord, on n'a pas dépassé le parallèle de 80° 55′, et vers le sud, on n'est allé que jusqu'au parallèle de 78° 10′.

La forme pyramidale que les grands continents affectent à leurs extrémités se reproduit fréquemment sur une moindre échelle, non-seulement dans l'océan Indien (péninsules Arabique et Indienne, presqu'île de Malacca), mais encore dans la Méditerranée, où déjà Ératosthène et Polybe avaient comparé sous ce rapport les péninsules Ibérique, Italique et Hellénique (41). L'Europe elle-même, dont la surface est cinq fois moindre que celle de l'Asie, peut être considérée comme la péninsule occidentale de la masse presque entièrement compacte du continent asiatique; cela est si vrai que, sous le rapport du climat, l'Europe est pour l'Asie ce que la presqu'île de Bretagne est au reste de la France (42). Les articulations nombreuses, la forme richement accidentée d'un continent exercent une grande influence sur les arts et la civilisation des peuples qui l'occupent: déjà Strabon préconisait, comme un avantage capital, « la forme variée » de notre petite Europe (43). L'Afrique (44) et l'Amérique du Sud, qui offrent, sous d'autres rapports, tant d'analogies dans leur configuration, sont, de tous les continents, ceux dont les côtes présentent le plus d'uniformité. Mais le rivage oriental de l'Asie, déchiré, pour ainsi dire, par les courants de la mer (*fractas ex æquore terras*) (45), est terminé par une ligne fortement accidentée; sur cette côte, les péninsules et les îles voisines du rivage se

succèdent, sans interruption, depuis l'équateur jusqu'au 60e degré de latitude.

Notre océan Atlantique présente toutes les traces qui caractérisent la formation d'une vallée. On dirait que le choc des eaux s'est dirigé d'abord vers le nord-est; puis vers le nord-ouest; puis encore vers le nord-est. Le parallélisme des côtés situés au nord du 10e degré de latitude australe, les angles saillants et les angles rentrants des terres opposées, la convexité du Brésil tournée vers le golfe de Guinée, celle de l'Afrique opposée au golfe des Antilles, tout, en un mot, confirme ces vues, qui peuvent d'abord paraître téméraires (46). Dans la vallée Atlantique et même dans presque toutes les parties du monde, les rivages profondément déchirés et garnis d'îles nombreuses sont opposés aux rivages unis. Depuis longtemps j'ai fait remarquer combien la comparaison des côtes occidentales de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, sous les tropiques, offre d'intérêt pour la géognosie. La côte africaine se recourbe fortement en forme de golfe, à Fernando-Po, par $4°\frac{1}{2}$ de latitude australe; de même, le rivage de la mer du Sud, qui court du sud au nord jusqu'au 18e degré de latitude australe, change brusquement de direction entre le Valle de Arica et le Morro de Juan-Diaz, et court vers le nord-ouest. Ce changement de direction s'étend même à la chaîne des Andes, partagée, dans cette région, en deux branches parallèles; il affecte non-seulement la branche maritime (47), mais encore la Cordillère orientale, qui a été le siége de la plus ancienne civilisation indigène

de l'Amérique, et l'inflexion se trouve là où la petite mer alpestre de Titicaca baigne les pieds de deux montagnes colossales, l'Illimani et le Sorata. Plus loin au sud, depuis Valdivia et Chiloë (par 40 ou 42° de latitude sud), jusqu'à l'archipel de Los Chonos, et de là jusqu'à la Terre de Feu, on retrouve la configuration particulière aux côtes occidentales de la Norwége et de l'Écosse, c'est-à-dire un labyrinthe de fiords ou de golfes étroits dont les ramifications pénètrent profondément dans les terres.

Telles sont les considérations les plus générales que l'examen de la surface de notre planète puisse suggérer relativement à la forme et à l'étendue actuelle des continents (dans le sens horizontal). Nous avons rassemblé les faits, nous avons mis en relief quelques analogies de formes des régions éloignées, mais nous ne prétendons pas avoir posé les lois de la forme générale de la terre ferme. Lorsqu'un voyageur examine les soulèvements partiels qui se produisent assez souvent aux pieds de certains volcans actifs, du Vésuve par exemple; lorsqu'il voit le niveau du sol varier de plusieurs pieds avant ou après les éruptions, et former une saillie semblable à un toit ou une éminence aplanie, il ne tarde pas à reconnaître qu'il suffit de la variation la plus insignifiante dans l'intensité des forces souterraines ou dans la résistance que le sol leur oppose, pour déterminer les parties soulevées à prendre cette forme-ci ou celle-là, cette direction ou une autre direction complétement différente. De même, une faible perturbation

survenue dans l'équilibre des actions intérieures de notre planète, aura déterminé les forces soulevantes à réagir contre une partie de la croûte terrestre, avec plus d'énergie que sur la partie opposée; il n'en aura pas fallu davantage pour que ces forces aient pu soulever, dans l'hémisphère occidental, un continent compacte dont l'axe est presque parallèle à l'équateur, et faire émerger, sur un même méridien de l'hémisphère oriental, une bande étroite de terres qui abandonnent aux eaux plus de la moitié de cette partie du globe.

Malgré ces analogies et ces contrastes, il n'est pas donné à la science de scruter bien profondément les grands phénomènes qui ont dû présider à la naissance des continents. Ce que nous en savons se réduit à ceci : la cause agissante est une force souterraine; les continents n'ont point été formés tout d'un coup tels qu'ils sont aujourd'hui, mais leur origine remonte, comme nous l'avons vu plus haut, à l'époque silurienne (séparation neptunienne), et leur formation occupe les périodes suivantes jusqu'à celle des terrains tertiaires; elle s'est effectuée peu à peu à travers une longue série de soulèvements et d'affaissements successifs; elle s'est accomplie enfin par l'agglutination de petits continents d'abord isolés. La figure actuelle est le produit de deux causes qui ont agi l'une après l'autre. La première est une réaction souterraine dont la mesure et la direction restent arbitraires, car il nous serait impossible de les déterminer; elles sortent pour nous du cercle des

faits nécessaires. La seconde cause comprend toutes les puissances qui agissent à la surface, et, parmi ces forces, les éruptions volcaniques, les tremblements de terre, les soulèvements des chaînes de montagnes, les courants de la mer ont joué le principal rôle. Combien la température actuelle de la terre, la végétation, l'agriculture, la civilisation elle-même auraient été différentes, si les axes de l'Ancien et du Nouveau-Continent avaient reçu la même direction; si la chaîne des Andes, au lieu de dessiner un méridien, avait été soulevée de l'est à l'ouest; si aucune terre tropicale (l'Afrique) ne rayonnait fortement le calorique au sud de l'Europe; si la Méditerranée, qui communiquait primitivement avec la mer Caspienne et avec la mer Rouge, et qui a puissamment favorisé l'établissement des races humaines, avait été remplacée par un sol aussi élevé que les plaines de la Lombardie ou de l'antique Cyrène!

Les changements qui sont survenus dans les niveaux relatifs des parties solides et liquides de la croûte terrestre et qui ont déterminé l'émersion ou l'immersion des basses terres et les contours actuels des continents, doivent être attribués à un ensemble de causes nombreuses qui ont agi tour à tour. Parmi ces causes, les plus efficaces sont, sans contredit, la force élastique des vapeurs renfermées dans l'intérieur de la terre; les variations brusques de la température de certaines couches épaisses (48); le refroidissement séculaire et irrégulier de l'écorce et du noyau du globe, d'où proviennent les rides et les

plissements de la surface solide; les modifications locales de la gravitation (49), et, par suite, les changements de courbure en certaines parties de la surface d'équilibre de l'élément liquide. C'est un fait aujourd'hui reconnu de tous les géologues, que l'émersion des continents est due à un soulèvement effectif, et non à un soulèvement apparent, occasionné par une dépression réelle du niveau général des mers. Cette conception capitale, qui paraît s'accorder avec l'ensemble des observations et avec les phénomènes analogues de la vulcanicité, a été énoncée, pour la première fois, par Léopold de Buch dans son mémorable *Voyage en Norwège et en Suède*, pendant les années 1806 et 1807 (50). Toute la côte suédoise et finlandaise s'élève progressivement, à raison de 1,3 mètre par siècle, depuis la limite de la Scanie septentrionale (Sœlvitsborg), jusqu'à Torneo, et de Torneo à Abo, tandis que la Suède méridionale s'affaisse, d'après Nilson (51). La force de soulèvement paraît atteindre son maximum dans la Laponie septentrionale; vers le sud, elle diminue peu à peu jusqu'à Calmar et Sœlvitsborg. Les lignes de l'ancien niveau que la mer atteignait avant les temps historiques, sont indiquées dans toute la Norwège (52), depuis le cap Lindesnæs jusqu'à l'extrémité du cap Nord, par des bancs composés de coquilles identiques à celles de la mer actuelle; Bravais a mesuré ces lignes avec le plus grand soin, pendant son long hivernage à Bosekop. Leur hauteur au-dessus du niveau moyen de la mer est de 195 mètres,

et d'après Keilhau et Eugène Robert, elles reparaissent sur les côtes du Spitzberg, vis-à-vis du cap Nord (au N. N. O.). Mais Léopold de Buch, qui a signalé le premier le banc de coquilles de Tromsoe (latit. 69° 40′), a montré que les plus anciens soulèvements des terres baignées par la mer du Nord n'ont aucun rapport avec l'émersion lente, graduelle et régulière du littoral suédois, dans le golfe de Bothnie. Il ne faut pas non plus confondre ce dernier phénomène, dont nous possédons d'irrécusables témoignages historiques, avec les changements qui surviennent dans le niveau du sol, à la suite des tremblements de terre, comme sur les côtes du Chili et du Cutch. Il a déterminé les géologues à faire des recherches semblables dans d'autres pays. Quelquefois un affaissement sensible, occasionné par le plissement des strates, correspond à un soulèvement général; cette remarque a été faite dans le Groenland occidental (par Pingel et Graah), en Dalmatie et en Scanie.

Puisqu'il est hautement probable que les mouvements oscillatoires du sol, les soulèvements et les affaissements de la surface, pendant les premiers âges de notre planète, ont été plus intenses qu'aujourd'hui, on ne doit pas être surpris de rencontrer, dans l'intérieur même des continents, des dépressions locales et des plages entières situées bien au-dessous du niveau partout égal des mers actuelles. Tels sont les lacs de natron, décrits par le général Andréossy, les petits lacs amers de l'isthme de Suez,

la mer Caspienne, le lac de Tibériade et surtout la mer Morte (53). Les niveaux de ces deux dernières mers sont respectivement situés à 203 et à 400 mètres au-dessous de celui de la Méditerranée. S'il était possible d'enlever tout d'un coup le terrain d'alluvion qui recouvre les couches pierreuses, dans un grand nombre de parties planes de la surface du globe, on verrait combien l'écorce terrestre, ainsi dénudée, offrirait de dépressions profondes au-dessous du niveau actuel des mers. En certains lieux, le sol paraît être encore sujet à de lentes oscillations indépendantes de tout tremblement de terre proprement dit, et assez semblables à celles qui ont dû se produire presque partout dans la croûte déjà solidifiée, mais peu épaisse, des époques primitives. Il faut probablement attribuer à des oscillations de ce genre, les périodes irrégulières d'exhaussement et d'abaissement du niveau de la mer Caspienne, phénomène dont j'ai vu moi-même des traces sensibles dans le bassin septentrional de cette mer (54); on peut expliquer de la même manière les observations faites, par Darwin, dans la mer de Corail (55).

Ces phénomènes, sur lesquels nous avons voulu fixer un instant l'attention, rappellent combien l'ordre actuel des choses est encore éloigné d'une parfaite stabilité; ils montrent qu'il se produit sans cesse des changements capables de modifier, à la longue, les contours et la configuration des continents. Ces variations, à peine sensibles d'une génération à l'autre, s'accumulent par périodes dont la durée rivalise avec

celle des grandes périodes astronomiques. Depuis 8000 ans, le rivage oriental de la péninsule scandinave s'est peut-être élevé de plus de 100 mètres; si ce mouvement est uniforme, dans 12000 ans, des parties du fond de la mer, voisines de ce littoral et couvertes actuellement de 50 brasses d'eau, commenceront à émerger et deviendront terre ferme. Ce laps de temps étonne d'abord l'imagination : en réalité, à peine est-il comparable à ces longues périodes géologiques qui embrassent des séries entières de formations superposées et des mondes d'organismes éteints. Nous n'avons considéré jusqu'ici que les faits de soulèvement; mais si nous poursuivons les mêmes analogies, en abordant les phénomènes qui semblent indiquer une dépression progressive, nous reconnaissons aussitôt que ce dernier effet pourrait se produire également sur une grande échelle. Ainsi la hauteur moyenne de la région des plaines, en France, n'atteint pas 156 mètres; il suffirait donc du moindre de ces changements intérieurs dont les âges géologiques nous offrent tant de traces frappantes, pour opérer, en assez peu de temps, la submersion d'une partie notable du nord de l'Europe occidentale, ou du moins pour modifier profondément la forme actuelle de notre littoral.

Le soulèvement, la dépression de la terre ferme ou de la masse des eaux, phénomènes réciproques, puisque le soulèvement réel de l'un de ces éléments fait naître aussitôt l'apparence d'une dépression dans l'autre, telles sont les causes de toutes les variations de

forme des continents. Il convient à une œuvre libre et impartiale d'envisager ainsi cette grande question sous toutes ses faces, et d'accorder au moins une mention à la *possibilité* d'une dépression *réelle* du niveau des mers, c'est-à-dire d'une diminution de la masse des eaux. Qu'à l'époque où la température de la surface était plus élevée, où les eaux s'engloutissaient dans des fractures plus grandes, où l'atmosphère possédait des propriétés tout autres, il se soit produit de grandes variations dans la quantité de l'élément liquide et par suite dans le niveau des mers, c'est ce dont personne ne doute aujourd'hui. Mais dans l'état actuel de notre planète, aucun fait n'annonce une diminution semblable; rien ne prouve directement que la masse des eaux augmente ou diminue d'une manière progressive. De même rien ne prouve que la hauteur moyenne du baromètre, au niveau de la mer, change peu à peu en une même station. Les recherches de Daussy et d'Antonio Nobile ont établi que l'abaissement du niveau de la mer serait immédiatement accusé par une augmentation correspondante dans la hauteur de la colonne barométrique; mais comme cette hauteur n'est pas identique sous toutes les latitudes, et qu'elle dépend de plusieurs causes météorologiques, telles que la direction générale des vents et l'état hygrométrique de l'air, il s'ensuit que le baromètre seul n'est point un indice sûr des variations du niveau de la mer. Si, au commencement de ce siècle, certains ports de la Méditerranée ont été abandonnés par les eaux et laissés à sec

pendant plusieurs heures, ce n'est pas à dire que la masse des eaux de la mer ait réellement diminué, ou que le niveau général de l'Océan ait subi une dépression; ces faits prouvent seulement que des courants de la mer *peuvent*, en changeant de force et de direction, occasionner un retrait *local* des eaux et même l'émersion permanente d'une petite portion du littoral. Les données que la science possède aujourd'hui sur cette question délicate ne sauraient être interprétées avec trop de réserve; autrement on risquerait d'attribuer à l'un des « anciens éléments », à l'eau, ce qui appartient en réalité à deux autres éléments, c'est-à-dire à l'air et à la terre.

De même que la forme extérieurement articulée des continents, et les découpures nombreuses de leurs rivages exercent une influence salutaire sur les climats, sur le commerce et jusque sur les progrès généraux de la civilisation, de même la configuration du sol dans le sens de la hauteur, c'est-à-dire l'articulation intérieure des grandes masses continentales, peut jouer un rôle non moins important dans le domaine de l'homme. Tout ce qui fait naître une variété quelconque de forme (polymorphie) en un point de la surface terrestre, que ce soit une chaîne de montagnes, un plateau, un grand lac, une steppe verdoyante, que ce soit même un désert bordé, comme par un rivage, d'une lisière de forêts, tout accident du sol, en un mot, imprime un cachet particulier à l'état social du peuple qui l'habite. Le sol est-il encaissé entre de hautes cimes recouvertes de neige? les

communications sont gênées, le commerce ne peut s'établir. Est-il formé de plaines basses, entremêlées de *chaînes discontinues* et peu élevées (56), comme dans l'ouest et dans le sud de l'Europe où ce genre d'articulation se développe si heureusement? alors les influences météorologiques se multiplient, et, avec elles, les productions du monde végétal. Bien plus, comme chaque contrée exige alors une culture différente, même à égalité de latitude, cette configuration spéciale donne naissance à des besoins qui stimulent l'activité des populations.

Ainsi, en soulevant les chaînes de montagnes à travers les couches violemment redressées, les réactions intérieures ont façonné la surface du globe ; elles ont préparé le domaine où les forces de la vie organique devaient se remettre à l'œuvre, après le retour du calme, pour y développer la profusion des formes individuelles. Ces révolutions formidables ont fait disparaître, en grande partie, sur l'un et l'autre hémisphère, l'uniformité sauvage qui, sans elles, eût appauvri l'énergie physique et intellectuelle de l'espèce humaine.

Les grandes vues d'Élie de Beaumont permettent d'assigner un âge relatif à chaque système de montagnes, en partant de ce principe, que l'époque du soulèvement d'une chaîne est nécessairement comprise entre l'époque de la formation des couches relevées, et celle du dépôt des strates qui s'étendent horizontalement jusqu'au pied de la montagne (57). Les plissements de l'écorce terrestre (redressement

des couches), quand ils datent d'une même époque géologique, paraissent affecter une direction commune. La ligne de faîte des couches relevées n'est pas toujours parallèle à l'axe de la chaîne de montagnes (58); elle coupe aussi quelquefois cet axe, et il en résulte, à mon avis, que le phénomène du redressement des couches, dont on peut suivre assez loin la trace dans les plaines voisines, est alors plus ancien que le soulèvement de la chaîne. La direction principale du continent européen (du S. O. au N. E.) est opposée à celle des grandes failles (du N. O. au S. E.); celles-ci partent des bouches de l'Elbe et du Rhin, traversent la mer Adriatique, la mer Rouge, le système de montagnes du Louchti-Koh, dans le Louristan, et aboutissent au golfe Persique et à l'océan Indien. Ce système de grandes lignes géodésiques à peu près rectangulaires, a singulièrement favorisé les relations commerciales de l'Europe avec l'Asie et le nord de l'Afrique occidentale, ainsi que la marche de la civilisation sur les bords autrefois plus heureux de la Méditerranée (59).

Plus l'imagination s'étonne de la hauteur et de la masse des chaînes des montagnes, plus l'esprit est frappé d'y reconnaître les témoins des révolutions du globe, les limites des climats, le point de partage des eaux, et le siége d'une végétation particulière, et plus il est nécessaire de montrer, par une exacte évaluation numérique de leur volume, combien ce volume est faible en réalité quand on le compare à celui des continents, ou même à l'étendue des

contrées voisines. Supposons, par exemple, que la masse entière des Pyrénées, dont on a mesuré avec une grande exactitude la hauteur moyenne et la base, soit uniformément répartie sur la surface de la France : tout calcul fait, on trouve que le sol serait exhaussé de 3 mètres. De même, si les matériaux qui forment la chaîne des Alpes étaient disséminés sur la surface de l'Europe, ils en augmenteraient la hauteur de 6 mètres $\frac{1}{2}$. Par un travail long et pénible qui, de sa nature, ne pouvait conduire qu'à une limite supérieure, c'est-à-dire à un nombre trop faible peut-être, mais non à un nombre trop fort, j'ai trouvé que le *centre de gravité* de la terre ferme est situé, pour l'Europe et pour l'Amérique du nord, à 205 et à 228 mètres au-dessus du niveau actuel des mers ; à 355 et 351 mètres pour l'Asie et l'Amérique du sud (60). Ainsi les régions septentrionales sont relativement basses. En Asie, la faible auteur des steppes de la Sibérie se trouve compensée par l'énorme renflement du sol compris entre les parallèles de 28° $\frac{1}{2}$ et de 40°, entre l'Himalaya, le Kouen-lun du Thibet septentrional et les Montagnes Célestes. On peut, jusqu'à un certain point, lire dans les nombres que j'ai trouvés, en quels lieux de la surface les forces plutoniques ont agi avec le plus d'énergie, pour soulever les grandes masses des continents.

Rien ne nous garantit que ces puissances plutoniques n'ajouteront point, dans le cours des siècles à venir, de nouveaux systèmes de montagnes à ceux

qu'elles ont déjà produits, et dont Élie de Beaumont a si bien déterminé les âges relatifs. Quelle cause, en effet, aurait pu faire perdre, à l'écorce terrestre, la faculté de se *rider* sous l'influence des actions souterraines? Lorsqu'on voit dans les Alpes et dans les Andes, qui comptent parmi les systèmes les plus récents, des colosses comme le mont Blanc et le mont Rose, comme le Sorata, l'Illimani et le Chimborazo, est-il permis d'admettre que les puissances souterraines qui soulevèrent ces colosses suivissent une période décroissante? qu'elles en fussent à leur dernier effort? Tous les phénomènes géognostiques révèlent des alternatives périodiques d'activité et de repos (61). Le repos dont nous jouissons n'est qu'apparent. Les tremblements de terre qui ébranlent indifféremment tous les genres de terrains, sous toutes les zones, la Suède qui monte sans cesse, l'apparition subite de nouvelles îles d'éruption ne prouvent guère que l'intérieur de notre planète soit parvenu au repos définitif.

L'enveloppe liquide et l'enveloppe gazeuze dont notre planète est entourée, présentent à la fois des contrastes et des analogies. Les contrastes naissent de la différence qui existe entre les gaz et les liquides. par rapport à l'élasticité et au mode d'agrégation de leurs molécules. Les analogies proviennent de la mobilité commune à toutes les parties des fluides et des liquides, et par suite, elles se manifestent surtout dans les courants et dans la propagation de la cha-

leur. La profondeur de la mer et celle de l'océan aérien nous sont également inconnues. Dans les mers des tropiques, on a sondé jusqu'à 8220 mètres (environ 2 lieues de poste) sans atteindre le fond ; et si, comme le pensait Wollaston, l'atmosphère s'arrêtait à une limite nette, semblable à la surface ondulée de la mer, la théorie des phénomènes crépusculaires indiquerait une profondeur au moins neuf fois plus forte pour l'océan aérien. Ce dernier repose, en partie sur la terre ferme dont les montagnes et les plateaux couronnés de forêts s'élèvent comme autant de bas-fonds, en partie sur la mer qui porte les couches aériennes les plus basses et les plus chargées d'humidité.

Dans ces deux océans, et à partir de leur limite commune, la température décroît suivant des lois déterminées, soit que l'on s'élève dans les couches aériennes, soit que l'on descende dans les couches aqueuses ; mais le décroissement de la chaleur est bien plus lent dans l'atmosphère que dans la mer. Comme toute molécule d'eau qui se refroidit devient plus dense et descend aussitôt, il en résulte que partout la température de la mer, à la surface, tend à se mettre en équilibre avec celle des couches d'air voisines. Une longue série d'observations thermométriques fort exactes nous a montré que, depuis l'équateur jusqu'aux parallèles du 48[e] degré de latitude boréale et australe, la température *moyenne* de la surface des mers est un peu supérieure à celle de l'atmosphère (62). Mais la température décroissant à partir de la surface,

à mesure que la profondeur augmente, les poissons et les autres habitants de la mer qui aiment les eaux profondes (peut-être à cause de leur respiration branchiale et cutanée) peuvent trouver, jusque sous les tropiques, les basses températures et les frais climats des zones tempérées ou même des régions froides. Cette circonstance influe puissamment sur les migrations et sur la distribution géographique d'un grand nombre d'animaux marins. Ajoutons que la profondeur à laquelle les poissons habitent, modifie leur respiration cutanée en raison de l'accroissement de pression, et qu'elle détermine le rapport des gaz oxygène et azote dont leur vessie natatoire est remplie.

Comme l'eau douce et l'eau salée n'atteignent point leur maximum de densité à la même température, et comme la salure des mers abaisse le degré thermométrique correspondant à ce maximum, on comprendra que l'eau puisée dans la mer à de grandes profondeurs, pendant les voyages de Kotzebue et de Dupetit-Thouars, n'ait accusé au thermomètre que 2°,8 et 2°,5. Cette température presque glaciale règne même dans les abîmes des mers des tropiques; elle a fait connaître les courants inférieurs qui se dirigent des deux pôles vers l'équateur. Et en effet, si ce double courant sous-marin n'existait pas, la chaleur des couches profondes ne s'abaisserait jamais au-dessous du minimum de la température des couches aériennes qui reposent immédiatement sur la mer. La Méditerranée ne présente pas, il est vrai, une diminution considérable de chaleur dans ses couches de

fond; mais Arago a levé toute difficulté à ce sujet en montrant qu'au détroit de Gibraltar, où les eaux de l'Océan Atlantique pénètrent en produisant un courant superficiel dirigé de l'ouest à l'est, un contre-courant inférieur déverse les eaux de la Méditerranée dans le Grand-Océan, et s'oppose à l'introduction du courant polaire inférieur.

Dans la zone torride et surtout entre les parallèles du 10e degré au nord et au sud de l'équateur, l'enveloppe liquide de notre planète possède, loin des côtes et des courants, une température qui reste singulièrement uniforme et constante sur des milliers de myriamètres carrés (63). On en a conclu, avec raison, que la manière la plus simple d'attaquer le grand problème, si souvent agité, de l'invariabilité des climats et de la chaleur terrestre, serait de soumettre la température des mers tropicales à une série d'observations longtemps prolongée (64). S'il survenait, sur le disque du soleil, quelque grande révolution dont la durée fût considérable, cette révolution se refléterait dans les variations de la chaleur moyenne de la mer, encore plus sûrement que dans celle des températures moyennes de la terre ferme.

La zone où les eaux de la mer atteignent le maximum de densité (de salure), ne coïncide ni avec celle du maximum de température, ni avec l'équateur géographique. Les eaux les plus chaudes paraissent former, au nord et au sud de cette ligne, deux bandes non parallèles. Lenz a trouvé, dans son voyage autour du monde, que les eaux les plus

denses étaient, en mer calme, par 22° de latitude nord, et par 18° de latitude sud ; la zone des eaux les moins salées se trouvait à quelques degrés au sud de l'équateur. Dans la région des calmes, la chaleur solaire ne produit qu'une faible évaporation, parce que les couches d'air saturé d'humidité qui reposent sur la surface de la mer, sont rarement renouvelées par les vents.

En général, toutes les mers qui communiquent entre elles doivent être considérées, par rapport à leur hauteur moyenne, comme étant parfaitement de niveau. Cependant des causes locales (probablement des vents régnants et des courants) produisent, en certains golfes profonds, des différences de niveau permanentes, mais toujours peu notables. Par exemple, à l'isthme de Suez, la hauteur de la Mer Rouge surpasse celle de la Méditerranée de 8 à 10 mètres, selon les diverses heures du jour. Cette différence remarquable était déjà connue dans l'antiquité ; il paraît qu'elle dépend de la forme particulière du détroit de Bab-el-Mandeb, par lequel les eaux de l'océan Indien pénètrent dans le bassin de la mer Rouge plus facilement qu'elles n'en peuvent sortir (65). Les excellentes opérations géodésiques de Corabœuf et de Delcros montrent que, d'un bout à l'autre de la chaîne des Pyrénées, comme de Marseille à la Hollande septentrionale, il n'existe aucune différence appréciable entre le niveau de la Méditerranée et celui de l'Océan (66).

Les perturbations de l'équilibre des eaux et les

mouvements qui en résultent sont de trois sortes. Les unes sont irrégulières et accidentelles comme les vents qui les font naître ; elles produisent des vagues dont la hauteur, en pleine mer et pendant la tempête, peut aller à 11 mètres. Les autres sont régulières et périodiques, elles dépendent de la position et de l'attraction du soleil et de la lune (flux et reflux). Les *courants* pélagiques constituent un troisième genre de perturbations permanentes et variables seulement quant à l'intensité. Le flux et le reflux affectent toutes les mers, sauf les petites méditerranées dans lesquelles l'onde produite par le flux est très-faible ou même insensible. Ce grand phénomène s'explique complétement dans le système newtonien ; « il s'y trouve ramené dans le cercle des faits nécessaires. » Chacune de ces oscillations périodiques des eaux de l'Océan dure un peu plus d'un demi-jour ; leur hauteur en pleine mer est à peine de quelques pieds, mais, par suite de la configuration des côtes qui s'opposent au mouvement progressif de l'onde, cette hauteur peut aller à 16 mètres à Saint-Malo, à 21 et même à 23 mètres sur les côtes de l'Acadie. « En négligeant la profondeur de l'Océan, comme insensible par rapport au diamètre de la terre, l'analyse de l'illustre Laplace a montré que la *stabilité* de l'équilibre des mers exige, pour la masse liquide, une densité inférieure à la densité moyenne de la terre. En fait, cette dernière densité est, comme nous l'avons vu déjà, cinq fois plus grande que celle de l'eau. Les hautes terres ne peuvent donc

jamais être inondées par la mer, et les restes d'animaux marins que l'on rencontre au sommet des montagnes, n'ont point été transportés là par des *marées* jadis plus hautes que les *marées* actuelles (67). »
Un des plus beaux triomphes de cette analyse que certains esprits mal faits affectent de déprécier, c'est d'avoir soumis le phénomène des marées à la prévision humaine; grâce à la théorie complète de Laplace, on annonce aujourd'hui, dans les éphémérides astronomiques, la hauteur des marées qui doivent arriver à chaque syzygie, et l'on avertit ainsi les habitants des côtes des dangers qu'ils peuvent courir à ces époques.

Les *courants océaniques*, dont on ne saurait méconnaître l'influence sur les relations des peuples et sur le climat des contrées voisines des côtes, dépendent du concours presque simultané d'un grand nombre de causes plus ou moins importantes. On peut compter parmi ces causes : la propagation successive de la marée dans son mouvement autour du globe; la durée et la force des vents régnants; les variations que la pesanteur spécifique des eaux de la mer éprouve suivant la latitude, la profondeur, la température et le degré de salure (68); enfin les variations *horaires* de la pression atmosphérique; ces variations, si régulières sous les tropiques, se propagent successivement de l'est à l'ouest. Les courants présentent au milieu des mers un singulier spectacle : leur largeur est déterminée; ils traversent l'Océan comme des fleuves dont les rives seraient

formées par les eaux en repos. Leur mouvement contraste avec l'immobilité des eaux voisines, surtout lorsque de longues couches de varecs, entraînées par le courant, permettent d'en apprécier la vitesse. Pendant les tempêtes, on remarque quelquefois dans l'atmosphère des courants analogues isolés au milieu des couches inférieures ; une forêt se trouve-t-elle sur le passage d'un courant pareil, les arbres ne sont renversés que dans la zone étroite qu'il a parcourue.

La marche progressive des marées et les vents alizés font naître, entre les tropiques, le mouvement général qui entraîne les eaux des mers de l'orient à l'occident ; on le nomme courant *équatorial* ou courant de rotation. Sa direction varie par suite de la résistance que lui opposent les côtes orientales des continents. En comparant les trajets exécutés par des bouteilles que des voyageurs avaient jetées, à dessein, à la mer, et qui furent recueillies plus tard, Daussy a récemment déterminé la vitesse de ce courant ; son résultat s'accorde, à $\frac{1}{18}$ près, avec celui que j'avais déduit d'expériences plus anciennes (10 milles marins français de 1856 mètres, par 24 heures) (69). Christophe Colomb avait reconnu l'existence de ce courant pendant son troisième voyage, le premier où il ait tenté d'atteindre les régions tropicales par le méridien des Canaries. On lit, en effet, dans son livre de loch (70) : « Je tiens pour certain que les eaux de la mer se meuvent, comme le ciel, de l'est à l'ouest (*las aguas van con los cielos*), » c'est-à-dire

selon le mouvement diurne apparent du Soleil, de la Lune et de tous les astres.

Les courants, véritables fleuves qui sillonnent les mers, sont de deux sortes : les uns portent les eaux chaudes vers les hautes latitudes, les autres ramènent les eaux froides vers l'équateur. Le fameux courant de l'océan Atlantique, le Gulf-Stream (71), déjà reconnu dans le XVI[e] siècle par Anghiera (72) et surtout par sir Humfrey Gilbert, appartient à la première classe. C'est au sud du cap de Bonne-Espérance qu'il faut chercher l'origine et les premières traces de ce courant; delà il pénètre dans la mer des Antilles, parcourt le golfe du Mexique, débouche par le détroit de Bahama, puis, se dirigeant du S. S. O. au N. N. E., il s'éloigne de plus en plus du littoral des États-Unis, s'infléchit vers l'est au banc de Terre-Neuve et va frapper les côtes de l'Irlande, des Hébrides et de la Norwége, où il porte des graines tropicales (*Mimosa scandens*, *Guilandina bonduc*, *Dolichos urens*). Son prolongement du N. E. réchauffe les eaux de la mer et exerce sa bienfaisante influence jusque sur le climat du promontoire septentrional de la Scandinavie. A l'est du banc de Terre-Neuve, le Gulf-Stream se bifurque et envoie, non loin des Açores, une seconde branche vers le sud (73). C'est là que se trouve la *mer des Sargasses*, immense banc formé de plantes marines (*fucus natans*, l'une des plus répandues parmi les plantes sociales de l'Océan), dont l'imagination de Christophe Colomb fut si vivement frappée, et qu'Oviédo nomme *praderias de yerva*

(prairies de varecs). Un nombre immense de petits animaux marins habitent ces masses toujours verdoyantes, transportées çà et là par les brises tièdes qui soufflent dans ces parages.

On voit que ce courant appartient presque tout entier à la partie septentrionale du bassin de l'Atlantique ; il côtoie trois continents : l'Afrique, l'Amérique et l'Europe. Un second courant dont j'ai reconnu la basse température, dans l'automne de l'année 1802, règne dans la mer du Sud et réagit d'une manière sensible sur le climat du littoral. Il porte les eaux froides des hautes latitudes australes vers les côtes du Chili ; il longe ces côtes et celles du Pérou en se dirigeant d'abord du sud au nord, puis, à partir de la baie d'Arica, il marche du S. S. E. au N. N. O. Entre les tropiques, la température de ce courant froid n'est que de 15°,6 en certaines saisons de l'année, pendant que celle des eaux voisines en repos monte à 27°,5 et même à 28°,7. Enfin, au sud de Payta, vers cette partie du littoral de l'Amérique méridionale qui fait saillie à l'ouest, le courant se recourbe comme la côte elle-même, et s'en écarte en allant de l'est à l'ouest ; en sorte qu'en continuant à gouverner au nord, le navigateur sort du courant et passe brusquement de l'eau froide dans l'eau chaude.

On ignore à quelle profondeur s'arrête le mouvement des masses d'eaux chaudes ou froides qui sont entraînées ainsi par les courants océaniques ; ce qui porterait à croire que ce mouvement se propage jusqu'aux couches les plus basses, c'est que le courant

de la côte méridionale de l'Afrique se réfléchit sur le banc de Lagullas, dont la profondeur est de 70 à 80 brasses.

Grâce à une découverte du vénérable Franklin, le thermomètre est devenu aujourd'hui une véritable sonde. En effet il est presque toujours possible de reconnaître la présence d'un bas-fonds ou d'un banc de sable situé hors des courants, par l'abaissement de la température de l'eau qui le recouvre. Ce phénomène, dont on peut tirer parti pour rendre la navigation plus sûre, me paraît provenir de ce que les eaux profondes, entraînées par le mouvement général des mers, remontent les pentes qui bordent les bas-fonds et vont se mêler aux couches d'eau supérieures. Sir Humphry Davy a proposé une autre explication : les molécules d'eau refroidies pendant la nuit, par voie de rayonnement, descendent vers le fond de la mer; mais, au-dessus d'un bas-fonds, ces molécules restent plus près de la surface et en maintiennent ainsi la température à un degré moins élevé que partout ailleurs. Des brouillards se forment fréquemment au-dessus des bas-fonds, parce que l'eau froide qui les recouvre détermine une précipitation locale des vapeurs contenues dans l'atmosphère. J'ai vu souvent ces brouillards au sud de la Jamaïque et dans la mer du Sud; leurs contours étaient nets; vus de loin, ils reproduisaient exactement la forme des bas-fonds. C'étaient de véritables images aériennes où se réfléchissaient les accidents du sol sous-marin.

L'eau froide qui recouvre ordinairement les bas-fonds produit un effet encore plus singulier dans les hautes régions de l'atmosphère ; elle agit à peu près comme les îles aplaties de corail ou de sable : on voit souvent en pleine mer, loin des côtes et par un ciel serein, des nuages se fixer au-dessus des points où les bas-fonds sont situés, et l'on peut alors relever, avec la boussole, la direction de ces points, tout comme s'il s'agissait d'une chaîne de montagnes ou d'un pic isolé.

Sous une surface moins variée que celle des continents, la mer contient dans son sein une exubérance de vie dont aucune autre région du globe ne pourrait donner l'idée. Charles Darwin remarque avec raison, dans son intéressant journal de voyage, que nos forêts terrestres n'abritent pas, à beaucoup près, autant d'animaux que celles de l'Océan. Car la mer aussi a ses forêts : ce sont les longues herbes marines qui croissent sur les bas-fonds, ou les bancs flottants de fucus que les courants et les vagues ont détachés, et dont les rameaux déliés sont soulevés, jusqu'à la surface, par leurs cellules gonflées d'air. L'étonnement que fait naître la profusion des formes organiques, dans l'Océan, s'accroît encore par l'emploi du microscope; on sent alors avec admiration que là, le mouvement et la vie ont tout envahi. A des profondeurs qui dépassent la hauteur des plus puissantes chaînes de montagnes, chaque couche d'eau est animée par des polygastriques, des cyclidies et des ophrydines. Là pullulent les animalcules phosphorescents, les mam-

maria de l'ordre des acalèphes, les crustacés, les peridinium, les néréides, dont les innombrables essaims sont attirés à la surface par certaines circonstances météorologiques, et transforment alors chaque vague en une écume lumineuse. L'abondance de ces petits êtres vivants, la quantité de matière animalisée qui résulte de leur rapide décomposition est telle, que l'eau de mer devient un véritable liquide nutritif pour des animaux beaucoup plus grands.

Certes la mer n'offre aucun phénomène plus digne d'occuper l'imagination que cette profusion de formes animées, que cette infinité d'êtres microscopiques dont l'organisation, pour être d'un ordre inférieur, n'en est pas moins délicate et variée; mais elle fait naître d'autres émotions plus sérieuses, j'oserai dire plus solennelles, par l'immensité du tableau qu'elle déroule aux yeux du navigateur. Celui qui aime à créer en lui-même un monde à part où puisse s'exercer librement l'activité spontanée de son âme, celui-là se sent rempli de l'idée sublime de l'infini, à l'aspect de la haute mer libre de tout rivage. Son regard cherche surtout l'horizon lointain; là, le ciel et l'eau semblent s'unir en un contour vaporeux où les astres montent et disparaissent tour à tour. Mais bientôt cette éternelle vicissitude de la nature réveille en nous le vague sentiment de tristesse qui est au fond de toutes les joies humaines.

Une prédilection particulière pour la mer, un souvenir plein de gratitude des impressions que l'élément liquide, en repos, au sein du calme de la nuit,

ou en lutte contre les forces de la nature, a produites sur moi, dans les régions des tropiques, ont pu seules me déterminer à signaler les jouissances individuelles de la contemplation, avant les considérations générales qu'il me reste à énumérer. Le contact de la mer exerce incontestablement une influence salutaire sur le moral et sur les progrès intellectuels d'un grand nombre de peuples; il multiplie et resserre les liens qui doivent unir un jour toutes les parties de l'humanité en un seul faisceau. S'il est possible d'arriver à une connaissance complète de la surface de notre planète, nous le devons à la mer, comme nous lui devons déjà les plus beaux progrès de l'astronomie et des sciences physiques et mathématiques. Dans l'origine, une partie de cette influence s'exerçait seulement sur le littoral de la Méditerranée et sur les côtes occidentales du sud de l'Asie; mais elle s'est généralisée depuis le XVI[e] siècle; elle s'est étendue même à des peuples qui vivent loin de la mer, à l'intérieur des continents. Depuis l'époque où Christophe Colomb fut envoyé pour délivrer l'Océan de ses chaînes (une voix inconnue lui parlait ainsi dans une vision qu'il eut, pendant sa maladie, sur les rives du fleuve de Belem) (74), l'homme a pu se lancer dans les régions inconnues, avec un esprit désormais libre de toute entrave.

La seconde enveloppe de notre planète, l'enveloppe extérieure, universelle, est l'océan aérien dont nous

habitons les bas-fonds (plateaux et montagnes); elle nous présente six classes de phénomènes, tous étroitement reliés par une dépendance mutuelle. Ces phénomènes dérivent de la constitution chimique de l'air, des variations qui surviennent dans sa diaphanéité, dans sa coloration, dans la manière dont il polarise la lumière; ils naissent des changements de densité ou de pression, de température, d'humidité et de tension électrique. L'air contient le premier élément de la vie animale, l'oxygène. L'air possède un autre attribut non moins relevé : il est le véhicule du son, et par suite, il est, pour les peuples, le véhicule du langage, des idées, des relations sociales. Si le globe terrestre était dépourvu d'atmosphère, comme notre Lune, ce ne serait qu'un désert où régnerait le silence.

Depuis le commencement du XIX[e] siècle, la proportion des éléments qui forment les couches d'air accessibles a été un sujet de recherches auxquelles nous avons pris une part active, Gay-Lussac et moi. L'analyse chimique de l'atmosphère est parvenue, dans ces derniers temps, à un haut degré de perfection, grâce aux excellents travaux que Dumas et Boussingault ont exécutés par de nouvelles méthodes plus exactes. D'après ces analyses, l'air sec contient, en volume, 20,8 d'oxygène et 79,2 d'azote; il renferme en outre de 2 à 5 dix-millièmes d'acide carbonique, une quantité encore plus faible de gaz hydrogène (75), et, d'après les importantes recherches de Saussure et de Liebig, quelques traces de vapeurs ammonia-

cales (76) qui fournissent aux plantes l'azote qu'elles contiennent. Quelques observations de Lewy portent à croire que la proportion d'oxygène varie un peu, suivant les saisons, ou suivant que l'air est recueilli dans l'intérieur des continents et au-dessus de la mer; et en effet, si l'immense quantité d'organisations animales que la mer nourrit peut faire varier la proportion d'oxygène dont l'eau s'est chargée, on comprend qu'il doive en résulter une variation correspondante dans les couches d'air voisines de la surface (77). L'air recueilli par Martins sur le Faulhorn, à 2762 mètres de hauteur, n'était pas moins riche en oxygène que l'air de Paris (78).

L'introduction du carbonate d'ammoniaque dans l'atmosphère est probablement antérieure à l'apparition de la vie organique sur la surface du globe. Les sources d'où l'acide carbonique se déverse dans l'atmosphère sont très-multipliées (79). Signalons d'abord la respiration des animaux : ceux-ci extraient le carbone des substances végétales dont ils se nourrissent, tandis que les végétaux le puisent dans l'atmosphère. L'intérieur de la terre, dans les contrées où se trouvent des volcans éteints et des sources thermales, est une source abondante d'acide carbonique. Il s'en produit aussi aux dépens de l'hydrogène carboné, qui existe dans l'atmosphère, et dont la décomposition est opérée par les décharges électriques des nuées, si fréquentes sous les tropiques. D'autres substances, des miasmes et des émanations pestilentielles, viennent se mêler accidentellement, surtout

près du sol, aux éléments que nous venons d'indiquer comme formant la composition normale de l'air, à toutes les hauteurs accessibles. Ces gaz ont échappé jusqu'à présent à l'analyse chimique ; mais le fait même de leur existence dans certaines régions de l'atmosphère n'est point douteux : les données les mieux constatées de la pathologie et les phénomènes qui accompagnent l'incessante décomposition des matières végétales ou animales, sur toute la surface du globe, l'établissent surabondamment. Sans parler des contrées marécageuses et des bords de la mer couverts de mollusques putréfiés ou de touffes de *rhizophora mangle* et d'avicennies, il existe une foule de circonstances dans lesquelles certaines vapeurs ammoniacales et nitreuses, de l'hydrogène sulfuré et même des composés analogues aux combinaisons à bases multiples (ternaires et quaternaires) du règne végétal (80), peuvent se mêler à l'air, et engendrer la fièvre tierce ou le typhus. Certains brouillards, répandant une odeur particulière, nous offrent un exemple des mélanges qui peuvent s'opérer accidentellement dans les régions inférieures de l'atmosphère. Bien plus, des substances solides réduites en poudre fine sont quelquefois portées à de grandes hauteurs, par les vents et les courants nés de l'échauffement du sol. Telle est la poussière qui tombe vers les îles du Cap-Vert, en obscurcissant l'atmosphère à de grandes distances ; Darwin appela l'attention des hommes de science sur ce phénomène, et Ehrenberg découvrit que cette pous-

sière contient d'innombrables infusoires à carapaces siliceuses.

Énumérons actuellement les phénomènes principaux qui caractérisent l'atmosphère; nous aurons à distinguer :

1° Les *variations de la pression atmosphérique ;* elles comprennent les oscillations horaires du baromètre, espèce de marée atmosphérique, qui ne saurait être attribuée à l'attraction lunaire (81) et qui varie considérablement avec la latitude géographique, avec les saisons et avec la hauteur du lieu d'observation.

2° *La distribution des climats et de la chaleur ;* elle dépend de la position relative des masses diaphanes et des masses opaques et de la configuration hypsométrique des continents. Ces relations déterminent la position géographique et la courbure des lignes isothermes, dans le sens horizontal et dans le sens vertical, c'est-à-dire sur une même surface de niveau et dans la série des couches superposées.

3° *La distribution de l'humidité ;* elle dépend de la proportion qui existe entre la surface des terres et celle de l'Océan, de la distance à l'équateur et de la hauteur au-dessus de la mer ; il faut distinguer parmi les formes diverses que la vapeur d'eau revêt en se précipitant, car ces formes varient avec la température, la direction et l'ordre de succession des vents.

4° *L'état électrique de l'atmosphère* dont l'origine est encore très-débattue, quand il s'agit de l'électri-

cité développée par un ciel serein. Sous ce titre, nous avons à examiner quels rapports rattachent l'ascension des vapeurs à la tension électrique et à la forme des nuages; il faut faire la part d'influence qui revient aux heures de la journée, aux saisons, aux climats, à la configuration des contrées formées de plaines basses ou de plateaux élevés; il faut rechercher les causes de la fréquence ou de la rareté des orages, de leur périodicité et de leur formation en été ou en hiver; il faut signaler enfin les rapports de l'électricité avec la grêle de nuit, phénomène extrêmement rare, et avec les trombes (tourbillons d'eau ou de sable) sur lesquelles Peltier a fait d'ingénieuses remarques.

Les variations horaires du baromètre, sous les tropiques, présentent deux *maxima*, à neuf heures ou neuf heures un quart du matin, et à dix heures et demie ou dix heures trois quarts du soir. Les deux *minima* ont lieu vers quatre heures ou quatre heures un quart de l'après-midi et à quatre heures du matin, c'est-à-dire presque à l'heure la plus chaude et à l'heure la plus froide de la journée. L'étude de ces variations a été longtemps pour moi un objet d'observations assidues de jour et de nuit (82). Leur régularité est si grande, qu'on peut, à la simple inspection du baromètre, déterminer l'heure, surtout pendant le jour, sans avoir à craindre, en moyenne, une erreur de plus de 15 à 17 minutes; elle est si permanente, que ni la tempête, ni l'orage, ni la pluie, ni les tremblements de terre ne peuvent la troubler; elle persiste dans les chaudes régions du littoral du Nou-

veau-Monde, comme sur les plateaux élevés de plus de 4000 mètres où la température moyenne descend à 7°. L'amplitude des oscillations diurnes décroît de 2,98 à 0,41 millimètres, depuis l'équateur jusqu'au 70e parallèle de latitude nord, sous lequel Bravais a fait une série d'observations très-précises (83). On a cru que, dans les stations beaucoup plus rapprochées du pôle, la hauteur moyenne du baromètre était plus faible à dix heures du matin que vers quatre heures du soir, en sorte qu'il y aurait dans ces climats une véritable interversion des heures du maximum et du minimum; mais les observations de Parry, au port Bowen (73°14'), ne justifient nullement ces idées.

A cause des courants ascendants de l'atmosphère, la hauteur moyenne du baromètre, sous l'équateur et généralement sous les tropiques, est un peu moindre que dans les zones tempérées (84); elle paraît atteindre son maximum dans l'Europe occidentale entre les parallèles de 40° et de 45°. Kæmtz a proposé, pour l'étude de la distribution de ces phénomènes à la surface du globe, un mode de représentation graphique qui consiste à unir, par des courbes, les lieux où les moyennes différences entre les extrêmes hauteurs *mensuelles* du baromètre sont égales; ce sont les lignes *isobarométriques*, dont la position géographique et les courbures conduisent à des résultats importants pour l'étude de l'influence que la configuration des terres et l'étendue des mers exercent sur les oscillations de l'atmosphère. L'Hindoustan avec ses hautes chaînes de montagnes et sa péninsule triangu-

laire, les côtes orientales du Nouveau-Continent vers le point où les eaux chaudes du Gulf-Stream se dirigent à l'est (Terre-Neuve), présentent des oscillations isobarométriques plus considérables que les Antilles et que l'Europe occidentale. Les vents régnants sont la cause principale qui détermine la diminution de la pression atmosphérique, et, suivant Daussy, partout où cette pression diminue, la hauteur moyenne de la mer augmente dans le même rapport (85).

Les variations qui se reproduisent régulièrement, par périodes horaires ou annuelles, dans la pression atmosphérique, les changements brusques et souvent dangereux (86) qui surviennent accidentellement dans cette pression, et, en général, tous les phénomènes dont l'ensemble constitue l'état du ciel, doivent être attribués, en grande partie, à la puissance calorifique des rayons du Soleil. Il en résulte que la direction des vents, la hauteur du baromètre, les changements de température, l'état hygrométrique de l'air sont des phénomènes connexes. Les résultats d'une longue série d'observations commencées, il y a longtemps, sur la proposition de Lambert, ont été réduits en tables qui indiquent la pression atmosphérique correspondante à chaque aire de vent; ces tables, connues sous le nom de *roses barométriques des vents*, ont permis de scruter plus profondément la liaison des phénomènes météorologiques (87). Avec une admirable finesse d'aperçus, Dove a reconnu, dans la loi de rotation des vents qu'il a lui-même établie pour les deux hémisphères, la cause de plusieurs grands phéno-

mènes dont l'océan aérien est le théâtre (88). La différence de température, entre les contrées équinoxiales et les contrées polaires, engendre deux courants opposés, l'un dans les hautes régions de l'atmosphère, l'autre à la surface du globe. Comme les points situés vers l'équateur et les points situés vers les pôles sont animés de vitesses de rotation très-différentes, il en résulte que le courant venant du pôle est infléchi vers l'est, tandis que le courant équinoxial s'infléchit vers l'ouest. C'est de la lutte de ces deux courants, c'est du lieu où le courant supérieur retombe et atteint la surface, c'est de leur pénétration réciproque que dépendent les plus importantes variations de la pression atmosphérique, les changements de température dans les couches d'air, la précipitation des vapeurs aqueuses condensées, et même, comme Dove l'a montré, la formation et les figures variées que prennent les nuages. La forme des nues, qui donne aux paysages tant de mouvement et de charme, nous annonce ce qui se passe dans les hautes régions de l'atmosphère; quand l'air est calme, les nuages dessinent, sur le ciel d'une chaude journée d'été, « l'image projetée » du sol dont le calorique rayonne abondamment vers l'espace.

Lorsque le rayonnement opère sur de grandes surfaces *continentales* et *océaniques* dont la position relative satisfait à certaines conditions, comme entre la côte orientale de l'Afrique et la côte occidentale de la péninsule indienne, ses effets deviennent manifestes : il produit les moussons des mers de l'Inde (89), l'Hippalos

des navigateurs grecs, dont la direction périodiquement variable avec la déclinaison du Soleil, a été facilement reconnue et mise à profit de toute antiquité. Ce furent là les débuts de la météorologie : la connaissance des moussons, répandue dans l'Hindoustan, en Chine, à l'orient du golfe Arabique, à l'ouest de la mer Malaise, la notion encore plus ancienne et plus générale des brises de terre et de mer, tels furent les premiers, les faibles rudiments d'une science qui fait aujourd'hui de rapides progrès. Les *stations magnétiques*, dont la longue série traverse maintenant, de Moscou à Pékin, toute l'Asie septentrionale, et dont les travaux doivent embrasser le magnétisme terrestre et les autres phénomènes météorologiques, sont appelées à fournir d'importants résultats à la théorie des vents. En comparant les observations recueillies sur divers points de cette ligne immense, on pourra décider, par exemple, si les vents d'est soufflent sans interruption, depuis le plateau désert de Gobi, jusque dans l'intérieur de l'empire Russe, ou bien si le courant produit par la précipitation de l'air des hautes régions ne commence qu'au milieu de la chaîne des stations. Alors on saura, à la lettre, d'*où vient le vent.* Si l'on ne fait concourir, au résultat cherché, que les lieux où les observations sur la direction des vents ont été continuées pendant plus de vingt années, on reconnaît (d'après les calculs exécutés récemment avec soin par G. Mahlmann) que le vent d'*ouest-sud-ouest* est *le vent régnant* sous les moyennes latitudes des zones tempérées des deux continents.

Nos idées sur la *distribution de la chaleur* atmosphérique ont gagné en clarté, sous certains rapports, depuis qu'on s'est efforcé de soumettre les phénomènes à un mode uniforme de représentation graphique, en reliant les uns aux autres, par un système de lignes, tous les points où les températures moyennes de l'année, de l'été et de l'hiver ont été déterminées avec exactitude. Le système des lignes *isothermes*, *isothères* et *isochimènes* que j'ai proposé en 1817, pourra peut-être fournir une base certaine à la climatologie comparée, si les physiciens consentent à réunir leurs efforts pour le perfectionner. C'est ainsi que l'étude du magnétisme terrestre est devenue une véritable science, du jour où les résultats partiels ont été réunis et représentés graphiquement par des lignes d'égale déclinaison, d'égale inclinaison et d'égale intensité.

L'expression de *climat*, prise dans son acception la plus générale, sert à désigner l'ensemble des variations atmosphériques qui affectent nos organes d'une manière sensible : la température, l'humidité, les changements de la pression barométrique, le calme de l'atmosphère, les vents, la tension plus ou moins forte de l'électricité atmosphérique, la pureté de l'air ou la présence de miasmes plus ou moins délétères, enfin le degré ordinaire de transparence et de sérénité du ciel. Cette dernière donnée n'influe pas seulement sur les effets du rayonnement calorifique du sol, sur le développement organique des végétaux et la maturation des fruits, mais encore sur

le moral de l'homme et l'harmonie de ses facultés.

Si la surface de la terre était formée d'un seul fluide homogène ou de couches possédant même couleur, même densité, même éclat, même faculté d'absorber les rayons solaires, même pouvoir de rayonner la chaleur vers les espaces célestes, les lignes isothermes, isothères et isochimènes seraient toutes dirigées parallèlement à l'équateur. Dans cette hypothèse, les pouvoirs absorbant et émissif, pour la chaleur et pour la lumière, seraient partout les mêmes sur la surface du globe, à parité de latitude. C'est de cet état moyen, qui n'exclut ni les courants de chaleur à l'intérieur du globe et dans son enveloppe gazeuse, ni la propagation de la chaleur par les courants d'air, que la théorie mathématique des climats doit partir, comme d'un état primitif. Tout ce qui fait varier les pouvoirs absorbant et émissif, en quelques points situés sur des parallèles égaux, produit une inflexion dans les lignes isothermes. La nature de ces inflexions, les angles sous lesquels les lignes isothermes, isothères, isochimènes coupent les cercles de latitude, la position du sommet de leur convexité ou de leur concavité par rapport au pôle de l'hémisphère correspondant, sont des effets de causes qui modifient plus ou moins puissamment la température sous les diverses latitudes géographiques.

Il est heureux pour les progrès de la climatologie, que la civilisation européenne se soit établie sur deux rivages opposés, ou plutôt, qu'elle ait rayonné de notre côte occidentale jusque sur une côte orien-

tale, en traversant le bassin de l'Atlantique. Lorsque après plusieurs tentatives éphémères en Islande et au Groënland, les habitants de la Grande-Bretagne fondèrent, enfin, sur le littoral des États-Unis d'Amérique, leurs premières colonies durables, dont les poursuites religieuses, le fanatisme et l'amour de la liberté accrurent rapidement la population, les colons qui vinrent s'établir entre la Caroline du Nord et l'embouchure du fleuve Saint-Laurent s'étonnèrent d'éprouver des hivers beaucoup plus froids que ceux de l'Italie, de la France et de l'Écosse, sous les mêmes latitudes. Une pareille différence de climats devait tenir l'attention en éveil; cependant la remarque ne devint réellement féconde en résultats pour la météorologie, que lorsqu'elle put être basée sur des données numériques exprimant les températures moyennes annuelles. En comparant de cette manière Nain, sur la côte du Labrador, avec Gothenbourg, Halifax avec Bordeaux, New-York avec Naples, San-Augustin, en Floride, avec le Caire, on trouve que, par les mêmes latitudes, les différences entre les températures moyennes de l'année de l'Amérique orientale et celles de l'Europe occidentale sont, en allant du nord au sud : 11°5; 7°7; 3°8; et presque 0°. Le décroissement progressif de ces différences, dans une série qui comprend 28° de latitude, est frappant. Plus loin, vers le sud, sous les tropiques mêmes, les lignes isothermes sont partout parallèles à l'équateur. On voit, par les exemples précédents, que ces questions si souvent posées dans les cercles de la société :

de combien de degrés l'Amérique (sans distinguer entre les côtes de l'ouest et celles de l'est) est-elle plus froide que l'Europe? quelle différence y a-t-il entre les températures moyennes de l'année au Canada ou aux États-Unis, et celles de l'Europe? on voit, disons-nous, que, sous une forme si absolue, si générale, ces questions n'ont aucun sens. La différence, en effet, n'est point constante; elle varie d'un parallèle à l'autre, et sans une comparaison spéciale des températures d'été et d'hiver sur les côtes opposées, il est impossible de se faire une idée juste des véritables rapports qui existent entre les climats, et d'apprécier leur influence sur l'agriculture, l'industrie et le bien-être des populations.

En signalant les causes qui peuvent modifier la forme des lignes isothermes, je distinguerai celles qui élèvent la température de celles qui tendent à l'abaisser. La première classe comprend :

La proximité d'une côte occidentale, dans la zone tempérée ;

La configuration particulière aux continents qui sont découpés en presqu'îles nombreuses ;

Les méditerranées et les golfes pénétrant profondément dans les terres ;

L'orientation, c'est-à-dire la position d'une terre relativement à une mer libre de glaces, qui s'étend au delà du cercle polaire, ou par rapport à un continent d'une étendue considérable, situé sur le même méridien, à l'équateur ou du moins à l'intérieur de la zone tropicale ;

La direction sud et ouest des vents régnants, s'il s'agit de la bordure occidentale d'un continent situé dans la zone tempérée; les chaînes de montagnes servant de rempart et d'abri contre les vents qui viennent de contrées plus froides;

La rareté des marécages dont la surface reste couverte de glace au printemps, et jusqu'au commencement de l'été;

L'absence de forêts sur un sol sec et sablonneux; la sérénité constante du ciel pendant les mois d'été; enfin le voisinage d'un courant pélagique, si ce courant apporte des eaux plus chaudes que celles de la mer ambiante.

Je range parmi les causes qui abaissent la température moyenne :

La hauteur, au-dessus du niveau de la mer, d'une région qui ne présente point de plateaux considérables;

Le voisinage d'une côte orientale, pour les hautes et les moyennes latitudes;

La configuration compacte d'un continent dont les côtes sont dépourvues de golfes;

Une grande extension des terres vers le pôle, et jusqu'à la région des glaces éternelles (à moins qu'il n'y ait, entre la terre et cette région, une mer constamment libre pendant l'hiver);

Une position géographique telle, que les régions tropicales de même longitude soient occupées par la mer, en d'autres termes, l'absence de toute terre tropicale sur le méridien du pays dont il s'agit d'étudier le climat;

Une chaîne de montagnes qui, par sa forme ou sa

direction, gênerait l'accès des vents chauds, ou bien encore le voisinage de pics isolés, à cause des courants d'air froid qui descendent le long de leurs versants;

Les forêts d'une grande étendue : elles empêchent les rayons solaires d'agir sur le sol; leurs organes appendiculaires (les feuilles) provoquent l'évaporation d'une grande quantité d'eau, en vertu de leur activité organique, et augmentent la superficie capable de se refroidir par voie de rayonnement. Les forêts agissent donc de trois manières : par leur ombre, par leur évaporation, par leur rayonnement;

Les marécages nombreux qui forment, dans le nord, jusqu'au milieu de l'été, de véritables glacières au milieu des plaines;

Un ciel d'été nébuleux, parce qu'il intercepte une partie des rayons du soleil;

Un ciel d'hiver très-pur, parce qu'un tel ciel favorise le rayonnement de la chaleur (90).

L'action simultanée de toutes ces causes réunies, de celles surtout qui dépendent des rapports d'étendue et de configuration des masses opaques (les continents), et des masses diaphanes (les mers), détermine les inflexions des lignes isothermes projetées sur la surface du globe. Les perturbations locales engendrent les sommets convexes et concaves de ces lignes. Comme il existe différents ordres parmi ces causes, chaque ordre devra être d'abord considéré isolément. Plus tard, pour obtenir leur effet total sur le mouvement des lignes isothermes, c'est-à-dire, sur la di-

rection et les courbures locales de ces lignes, on examinera comment ces causes réunies se modifient, s'annulent ou se renforcent mutuellement, tout comme s'il s'agissait de petits mouvements ondulatoires qui se rencontrent et se croisent. Tel est l'esprit de la méthode par laquelle je me flatte qu'il sera possible, un jour, de soumettre d'immenses séries de faits, en apparence isolés, à des lois empiriques exprimées numériquement, et de mettre en relief leur dépendance réciproque.

Les alizés (vents d'est de la zone tropicale) font naître des remous ou des contre-courants qui impriment la direction ouest ou ouest-sud-ouest, aux vents régnants des deux zones tempérées; ceux-ci sont donc des vents de terre, pour une côte orientale, et des vents de mer pour une côte occidentale. Or la surface de la mer n'étant pas susceptible de se refroidir autant que celle des continents, à cause de l'énorme masse des eaux et de la précipitation immédiate des particules refroidies, il en résulte que les côtes occidentales doivent être plus chaudes que les côtes orientales, pourvu toutefois qu'un courant océanique ne vienne point modifier leur température. Cette différence a été signalée, pour la première fois, par un jeune compagnon de Cook, l'ingénieux Georges Forster, qui a contribué d'une manière si efficace à faire naître en moi le goût des entreprises lointaines. Il en est de même de l'analogie qui existe, pour la température, entre la côte occidentale de l'Amérique du Nord, sous les moyennes latitudes, et la côte occidentale de l'Europe (91).

Même dans les régions du nord, il existe une différence très-frappante entre les températures moyennes annuelles des côtes orientales, et celles des côtes occidentales de l'Amérique. A Nain, dans le Labrador (lat. 57° 10′), cette température est de 3°,8 au-dessous de 0°, tandis qu'elle est encore de 6°, 9 au-dessus de 0° à Neu-Archangelsk, sur la côte nord-ouest de l'Amérique russe. La température moyenne de l'été est à peine de 6°,2 dans le premier endroit, elle est de 13°,8 dans le second. Pékin (39° 54′), sur la côte orientale de l'Asie, possède une température moyenne annuelle (11°,3), moindre que celle de Naples, qui est pourtant un peu plus septentrionale; la différence dépasse 5°. La température moyenne de l'hiver, à Pékin, est au moins 3° au-dessous de 0°; et dans l'Europe occidentale, à Paris même (48° 50′), elle est de 3°,3 au-dessus de 0°. Les hivers de Pékin sont même, en moyenne, de deux degrés et demi plus froids que ceux de Copenhague, malgré la situation beaucoup plus septentrionale de cette dernière ville (17° de latitude plus au nord que Pékin).

Nous avons dit plus haut avec quelle lenteur la masse énorme des eaux de l'Océan suit les variations de température de l'atmosphère, et nous en avons tiré la conséquence que la mer sert à égaliser les températures, qu'elle tempère à la fois la rigueur des hivers et la chaleur des étés. De là une opposition importante entre le climat des îles ou des côtes, propre à tous les continents articulés, riches en péninsules et en golfes, et le climat de l'intérieur d'une grande

masse compacte de terres fermes. Ce contraste a été complétement développé pour la première fois par Léopold de Buch. Aucun de ses traits caractéristiques, aucun de ses effets sur la force de la végétation, le développement de l'agriculture, la transparence du ciel, le rayonnement calorifique du sol, et la hauteur des neiges éternelles, n'a échappé au grand géologue. Dans l'intérieur de l'Asie, Tobolsk, Barnaul sur l'Obi, et Irkoutsk ont les mêmes étés que Berlin, Münster et Cherbourg; mais à ces étés succèdent des hivers dont l'effrayante température moyenne est de—18° à—20°. Pendant les mois d'été, on voit le thermomètre se maintenir des semaines entières à 30° et 31°. Ces *climats continentaux* ont été, à bon droit, nommés *excessifs* par le célèbre Buffon, et les habitants des contrées où règnent ces climats excessifs, paraissent être condamnés, comme les âmes en peine du purgatoire de Dante (92),

A sofferir tormenti caldi e geli.

Jamais dans aucune partie du monde, pas même dans le midi de la France, en Espagne ou aux îles Canaries, je n'ai trouvé d'aussi bons fruits et surtout d'aussi belles grappes de raisin qu'aux environs d'Astrakhan, sur les bords de la mer Caspienne (46° 21′). La température moyenne de l'année y est d'environ 9°; celle de l'été monte à 21° 2, comme à Bordeaux; mais en hiver, le thermomètre y descend à — 25° et à — 30. Il en est de même à Kislar, sur l'embouchure du Térek; quoique cette dernière ville

soit encore plus méridionale qu'Astrakhan (par les latitudes d'Avignon et de Rimini).

Le climat de l'Irlande, des îles de Jersey et de Guernesey, de la presqu'île de Bretagne, des côtes de Normandie et de l'Angleterre méridionale, pays aux hivers doux, aux étés frais et nébuleux, contraste fortement avec le climat *continental* de l'intérieur de l'Europe orientale. Au N. E. de l'Irlande (54° 56′) par la même latitude que Kœnigsberg en Prusse, le myrte croît en pleine terre comme en Portugal. La température du mois d'août atteint 21° en Hongrie : elle est de 16° tout au plus à Dublin (sur la même ligne isotherme de 9° $\frac{1}{2}$). La moyenne température d'hiver descend à 2°,4 à Bude ; à Dublin, où la température annuelle n'est que de 9°,5, celle de l'hiver est encore de 4°,3 au-dessus de la glace ; c'est 2° de plus qu'à Milan, qu'à Pavie, qu'à Padoue, que dans toute la Lombardie où la chaleur moyenne de l'année monte à 12°,7. Aux Orcades (Stromness), un peu au sud de Stockholm (la différence de latitude n'est pas d'un demi-degré), la température moyenne de l'hiver est de 4°, c'est-à-dire qu'elle est plus élevée qu'à Paris et presque aussi chaude qu'à Londres. Bien plus, les eaux intérieures ne gèlent jamais aux îles de Féroë, placées par 62° de latitude, sous la douce influence du vent d'ouest et de la mer. Sur les côtes gracieuses du Devonshire, dont l'un des ports (Salcombe) a été surnommé le Montpellier du Nord, à cause de la douceur de son climat, on a vu l'*agave Mexicana* fleurir en pleine terre, et des orangers en espalier porter des

fruits, quoiqu'ils fussent à peine abrités par quelques nattes. Là, comme à Penzance, comme à Gosport et à Cherbourg sur les côtes de la Normandie, la température moyenne de l'hiver est 5°,5 ; elle n'est donc inférieure à celles de Montpellier et de Florence que de 1°,3 (93). Ces rapprochements montrent assez en combien de manières une seule et même température moyenne annuelle peut se répartir entre les diverses saisons, et combien ces divers modes de distribution de la chaleur, dans le cours de l'année, exercent d'influence sur la végétation, l'agriculture, la maturation des fruits et le bien-être matériel de l'homme.

Les lignes que j'ai nommées *isochimènes* et *isothères* (lignes d'égales températures d'été et d'hiver) ne sont nullement parallèles aux lignes isothermes (lignes d'égales températures annuelles). Si là où les myrtes croissent en pleine terre et où le sol ne se couvre jamais, en hiver, d'une neige permanente, les températures d'été et d'automne suffisent à peine pour porter les pommes à maturité; si la vigne, pour donner un vin potable, fuit les îles et presque toutes les côtes, même les côtes occidentales, ce n'est pas seulement à cause de la faible température qui règne en été sur le littoral; la raison de ces phénomènes est ailleurs que dans les indications fournies par nos thermomètres lorsqu'ils sont suspendus à l'ombre. Il faut la chercher dans l'influence de la lumière directe dont on n'a guère tenu compte jusqu'ici, bien qu'elle se manifeste dans une foule de phénomènes (par exemple, dans l'inflammation d'un mélange d'hydrogène et de

chlore). Il existe, à cet égard, une différence capitale entre la lumière diffuse et la lumière directe, entre la lumière qui a traversé un ciel serein, et celle qui a été affaiblie et dispersée en tous sens par un ciel nébuleux. Je me suis efforcé, il y a longtemps (94), d'attirer l'attention des physiciens et des phytologues sur cette différence, et sur la quantité de chaleur encore inconnue que l'action de la lumière directe développe dans les cellules des végétaux vivants.

Si l'on parcourt l'échelle thermique des divers genres de culture (95) en commençant par celles qui exigent le climat le plus chaud, on rencontre successivement la vanille, le cacao, le pisang et le cocotier; puis l'ananas, la canne à sucre, le caféier, le dattier, le citronnier, l'olivier, le châtaignier franc et la vigne dont le vin est potable. En étudiant la distribution de ces diverses cultures dans les plaines et sur les versants des montagnes, on ne tarde pas à reconnaître que leurs limites géographiques ne sont pas exclusivement réglées par les moyennes températures annuelles. Ainsi, pour que la vigne produise du vin potable (96), il ne suffit pas que la chaleur moyenne de l'année dépasse 9° $\frac{1}{2}$; il faut encore qu'une température d'hiver supérieure à + 0°,5 soit suivie d'une température moyenne de 18° au moins pendant l'été. Dans la vallée de la Garonne, à Bordeaux (lat. 40° 50′), les températures moyennes de l'année, de l'hiver, de l'été et de l'automne sont respectivement: 13°,8; 6°,2; 21°,7; 14°,4. Dans les plaines du littoral de la mer Baltique (lat. 52° $\frac{1}{2}$), où le vin n'est plus potable (il y est consommé cependant),

ces nombres sont : 8°,6 ; —0°,7 ; 17°,6 ; 8°,6. Certes, il doit exister une opposition bien tranchée entre deux climats dont l'un est éminemment favorable à la culture de la vigne, tandis que l'autre atteint la limite où cette culture cesse d'être productive, et il paraît d'abord surprenant que les indications thermométriques n'accusent pas plus nettement cette différence. Mais on s'étonnera moins si l'on considère qu'un thermomètre placé à l'ombre, abrité complétement, ou à peu près, contre les effets de l'insolation directe et du rayonnement nocturne, ne saurait indiquer la température du sol librement exposé à toutes ces influences, ni les variations périodiques dont cette température est affectée d'une saison à l'autre.

Les mêmes rapports de climats qu'on observe entre la presqu'île de Bretagne et le reste de la France, dont la masse est plus compacte, dont les étés sont plus chauds et les hivers plus rudes, se reproduisent, jusqu'à un certain point, entre l'Europe et le continent asiatique dont l'Europe forme la péninsule occidentale. L'Europe doit la douceur de son climat à sa configuration richement articulée, à l'Océan qui baigne les côtes occidentales de l'Ancien-Monde, à la mer libre de glaces qui la sépare des régions polaires, et surtout à l'existence et à la situation géographique du continent africain, dont les régions intertropicales rayonnent abondamment et provoquent l'ascension d'un immense courant d'air chaud, tandis que les régions placées au sud de l'Asie sont en grande partie océaniques. L'Europe deviendrait plus froide (97),

si l'Afrique était submergée, si la fabuleuse Atlantide, sortant du sein de l'Océan, venait joindre l'Europe à l'Amérique ; si les eaux chaudes du Gulf-Stream ne se déversaient point dans les mers du Nord, ou si une nouvelle terre, soulevée par les forces volcaniques, s'intercalait entre la péninsule Scandinave et le Spitzberg. A mesure que l'on avance de l'ouest à l'est, en parcourant, sur un même parallèle de latitude, la France, l'Allemagne, la Pologne, la Russie, jusqu'à la chaîne des monts Ourals, on voit les températures moyennes de l'année suivre une série décroissante. Mais aussi, au fur et à mesure que l'on pénètre ainsi dans l'intérieur des terres, la forme du continent devient de plus en plus compacte ; sa largeur augmente, l'influence de la mer diminue, celle des vents d'ouest devient moins sensible : c'est là qu'il faut chercher la raison principale de l'abaissement progressif de la température. Déjà même dans les régions situées au delà de l'Oural, les vents d'ouest sont devenus des vents de terre. Au lieu de réchauffer, ils refroidissent ces pays, lorsqu'ils y parviennent après avoir soufflé sur de grandes étendues de terres glacées et couvertes de neige. La rigueur du climat, dans l'ouest de la Sibérie, est un effet de ces causes générales ; elle est due à la configuration de la terre ferme, et à la nature des courants atmosphériques, mais non (98), quoi qu'en aient dit Hippocrate, Trogue-Pompée, et même plus d'un voyageur célèbre du XVIIIe siècle, à une grande hauteur du sol au-dessus du niveau de la mer.

Laissons maintenant les plaines pour nous occuper des inégalités dont la surface polyédrique de notre globe est parsemée, et considérons les montagnes par rapport à leur action sur le climat des pays voisins, et à l'influence qu'elles exercent, en raison de la hauteur, sur la température de leurs propres sommets, ou même sur celle des plateaux qu'elles supportent. Les chaînes de montagnes partagent la surface terrestre en grands bassins, en vallées profondes et étroites, en vallées circulaires. Ces vallées, souvent encaissées comme entre des remparts, *individualisent* les climats locaux (par exemple en Grèce et dans une partie de l'Asie Mineure), et les placent dans des conditions toutes spéciales par rapport à la chaleur, à l'humidité, à la transparence de l'air, à la fréquence des vents et des orages. Cette configuration a exercé de tout temps une puissante influence sur les productions du sol, le choix des cultures, les mœurs, les formes gouvernementales et même sur les inimitiés des races voisines. Le caractère de l'*individualité géographique* atteint, pour ainsi dire, son maximum, lorsque la configuration du sol, dans le sens horizontal et dans le sens vertical, est aussi variée que possible. Le caractère opposé est fortement empreint dans les steppes de l'Asie septentrionale, dans les grandes plaines herbacées du Nouveau-Monde (savanes, llanos, pampas), dans les landes à bruyères (ericeta) de l'Europe, et dans les déserts de sable ou de pierres de l'Afrique.

La loi que suit le décroissement de la chaleur, par

différentes latitudes, à mesure que la hauteur augmente, est d'une haute importance en météorologie ; elle n'intéresse pas moins la géographie des plantes, la théorie de la réfraction terrestre, et les hypothèses diverses sur lesquelles se fonde l'évaluation de la hauteur de l'atmosphère. Aussi l'étude de cette loi a-t-elle toujours été un des objets principaux de mes recherches, dans les nombreuses ascensions de montagnes que j'ai exécutées en dedans ou en dehors des tropiques (99).

Depuis que l'on sait, avec quelque exactitude, comment la chaleur se distribue à la surface du globe, c'est-à-dire depuis que l'on étudie les inflexions et les distances des lignes isothermes et isothères, dans les divers systèmes de température à l'est et à l'ouest de l'Asie, de l'Europe centrale et de l'Amérique du Nord, il n'est plus permis de poser, sous une forme absolue, cette question : à quelle fraction de la chaleur thermométrique moyenne de l'année ou de l'été, répond une variation de 1° en latitude, quand on se déplace sur un même méridien ? Il règne dans chaque système de lignes isothermes à courbures égales, une liaison intime et nécessaire entre trois éléments : la diminution de la chaleur dans le sens vertical et de bas en haut ; la variation de température pour 1° de changement dans la latitude géographique ; et le rapport qui existe entre la moyenne température d'une station, sur une montagne, et la distance au pôle d'un point situé au niveau de la mer.

Dans le système de l'*Amérique orientale*, la tempé-

rature moyenne annuelle varie, depuis la côte du Labrador jusqu'à Boston, de 0°,88 par chaque degré de latitude; de Boston à Charleston de 0°,95; de Charleston au tropique du cancer (Cuba) la variation diminue; elle n'est que 0°,66. Dans la zone tropicale même, la température moyenne varie avec tant de lenteur, que, de la Havane à Cumana, le changement pour un degré de latitude ne dépasse point 0°,20.

Il en est tout autrement du système formé par les lignes isothermes de l'*Europe centrale.* Entre les parallèles de 38° et de 71°, je trouve que la température décroît uniformément à raison d'un demi-degré du thermomètre par chaque degré de latitude. Mais comme, d'autre part, la chaleur diminue de 1° dans cette région, quand la hauteur augmente de 156 ou de 170 mètres, il en résulte que 78 ou 85 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer produisent le même effet, sur la température annuelle, qu'un déplacement vers le nord de 1° en latitude. Ainsi la température moyenne annuelle du couvent du mont Saint-Bernard, situé à 2491 mètres de hauteur, par 45° 50′ de latitude, se retrouve dans la plaine, par une latitude de 75° 50′.

Les observations que j'ai faites jusqu'à 6000 mètres de hauteur, dans la partie de la chaîne des Andes comprise entre les tropiques, m'ont donné une diminution de 1° de température par 187 mètres d'augmentation dans la hauteur. Trente ans plus tard, mon ami Boussingault a trouvé en moyenne 175 mètres. En comparant les lieux situés sur le versant

même des Cordillères, avec d'autres lieux d'égale hauteur au-dessus de la mer, mais placés sur des plateaux d'une grande étendue, j'ai remarqué que la température moyenne de l'année était plus élevée de 1°,5 à 2°,3 dans ces derniers lieux. La différence serait plus forte, sans la déperdition de chaleur que le rayonnement occasionne pendant la nuit. Comme, dans cette région, les climats se trouvent étagés les uns au-dessus des autres, depuis les forêts de cacaos des plaines basses jusqu'à la neige éternelle, et comme la température y varie très-peu d'un bout à l'autre de l'année, on peut se faire une idée assez exacte des températures particulières aux grandes villes de la chaîne des Andes, en les comparant à celles qu'on éprouve en France et en Italie, à certaines époques de l'année. Tandis qu'il règne, chaque jour, sur les rives boisées de l'Orénoque, une chaleur qui dépasse de 4° celle du mois d'août à Palerme, on trouve, à mesure qu'on s'élève sur les Andes, à Popayan (1775 m.), les trois mois d'été de Marseille; à Quito (2908 m.), la fin du mois de mai de Paris; enfin sur les Paramos où croissent des plantes alpestres, chétives, il est vrai, et cependant couvertes de fleurs, on trouve la température qui règne à Paris, au commencement du mois d'avril.

Plus on se rapproche de l'équateur, plus la limite des neiges éternelles est élevée; l'ingénieux Pierre Martyr de Anghiera, un des amis de Christophe Colomb, est certainement le premier qui en ait fait la remarque (après l'expédition entreprise, en octobre

1510, par Rodrigo Enrique Colmenares). Voici ce qu'il dit, à ce sujet, dans son bel ouvrage *De rebus oceanicis* (100): « La rivière Gaira descend d'une montagne (dans la Sierra-Nevada de Santa Marta) qui, au dire des compagnons de Colmenares, surpasse en hauteur toutes les montagnes connues, et cela doit être en effet, puisque cette montagne, située à 10° tout au plus de l'équateur, conserve en tout temps de la neige sur son sommet. » La limite des neiges éternelles, pour une latitude donnée, est la ligne des neiges qui résistent à l'été; en d'autres termes, c'est la plus grande hauteur à laquelle cette ligne puisse remonter dans le cours de l'année entière. Cette donnée doit être soigneusement distinguée des trois phénomènes suivants : l'oscillation annuelle de la limite inférieure des neiges, la chute de la neige sporadique, et la formation des glaciers qui paraissent ne pouvoir exister ailleurs que dans les zones froides et tempérées. Depuis les immortels travaux de Saussure, le phénomène des glaciers a été étudié, dans les Alpes, par Venetz et Charpentier, et surtout par Agassiz, dont la persévérance et l'intrépidité sont au-dessus de tout éloge.

Nous connaissons bien la limite inférieure des neiges perpétuelles; quant à leur limite supérieure, il ne peut pas en être question, car les cimes les plus hautes sont encore loin d'atteindre ces couches d'air raréfié qui, suivant une opinion très-probable de Bouguer, ne contiennent plus de vapeur vésiculaire capable d'engendrer des cristaux de glace, par le refroidissement, et de prendre ainsi une forme visible.

La limite inférieure des neiges n'est pas uniquement une fonction de la latitude géographique et de la température moyenne annuelle du lieu ; ce n'est ni à l'équateur ni même dans la zone intertropicale, comme on l'a cru longtemps, que cette limite parvient à sa plus grande hauteur au-dessus du niveau de la mer. Le phénomène dont il s'agit est, en général, un effet très-complexe de la température, de l'état hygrométrique et de la forme des montagnes ; et si on le soumet à une analyse encore plus détaillée, ce que les observations récentes (1) permettent de faire aujourd'hui, on reconnaît qu'il dépend du concours d'un grand nombre de causes telles que la différence des températures propres à chaque saison ; la direction des vents régnants et leur contact, soit avec la mer, soit avec la terre ; le degré habituel de sécheresse ou d'humidité des couches supérieures de l'atmosphère ; l'épaisseur absolue de la masse de neige qui est tombée ou qui s'est accumulée ; le rapport entre la hauteur de la limite inférieure des neiges et la hauteur totale de la montagne ; la position relative de cette dernière dans la chaîne dont elle fait partie ; l'escarpement des versants ; le voisinage d'autres cimes également couvertes de neige perpétuelle ; l'étendue et la hauteur absolue des plaines au sein desquelles la cime neigeuse s'élève comme un pic isolé, ou sur la croupe d'une chaîne de montagnes. Il faut tenir compte enfin de la situation de ces plaines au bord de la mer ou à l'intérieur des continents ; il faut examiner si elles sont formées de forêts ou de

par Beccaria, dont les descriptions s'accordent parfaitement avec les observations plus récentes. On a vu aussi, en l'absence de tout symptôme d'orage, des grêlons, des gouttes de pluie et des flocons de neige briller d'une lueur électrique. Indiquons enfin, comme l'un des traits les plus frappants de la *distribution géographique des orages*, le contraste singulier qu'offre la côte péruvienne où il ne tonne jamais, avec le reste de la zone des tropiques, où presque chaque jour, à certaines époques de l'année, il se forme des orages, quatre ou cinq heures après la culmination du soleil. Arago a recueilli, sur cette intéressante question, les témoignages d'un grand nombre de navigateurs (Scoresby, Parry, Ross, Franklin) qui mettent hors de doute l'extrême rareté des explosions électriques, par les hautes latitudes boréales de 70° et de 75° (18).

Nous ne terminerons pas la partie météorologique du tableau de la nature sans insister de nouveau sur l'étroite connexité qui relie entre eux les phénomènes de l'atmosphère. Pas un des agents qui, comme la lumière, la chaleur, l'élasticité des vapeurs, l'électricité, jouent dans l'océan aérien un rôle si considérable, ne peut faire sentir son influence, sans que le phénomène produit soit aussitôt modifié par l'intervention simultanée de tous les autres agents. Cette complication de causes perturbatrices nous reporte involontairement à celles qui altèrent sans cesse les mouvements des corps célestes, et surtout ceux des corps à faible masse, qui se rapprochent beaucoup des centres

d'action principaux (les comètes, les satellites, les étoiles filantes). Mais ici la confusion des apparences devient souvent inextricable ; elle nous ôte l'espérance de parvenir jamais à prévoir, autrement que dans des limites fort restreintes, les changements de l'atmosphère, dont la connaissance anticipée aurait tant d'intérêt pour la culture des vergers et des champs, pour la navigation, le bien-être et les plaisirs des hommes. Ceux qui cherchent, avant tout, dans la météorologie, cette problématique prévision des phénomènes, se persuadent que c'est en vain que tant d'expéditions ont été entreprises, que tant d'observations ont été recueillies et discutées : pour eux, la météorologie n'a point fait de progrès. Ils refusent leur confiance à une science si stérile à leurs yeux, pour l'accorder aux phases de la lune ou à certains jours notés dans le calendrier par d'anciennes superstitions.

« Il est rare qu'il survienne de grands écarts locaux dans la distribution des températures moyennes ; d'ordinaire, les anomalies se répartissent uniformément sur de grandes étendues. L'écart accidentel atteint son maximum en un lieu déterminé, et décroît ensuite de part et d'autre de ce point, en allant vers certaines limites. Si l'on dépasse ces limites, on peut trouver de grands écarts en *sens opposés*. Seulement ils se produisent plus fréquemment du sud vers le nord, que de l'ouest vers l'est. A la fin de l'année 1829 (j'achevais alors mon voyage en Sibérie), le maximum de froid tomba sur Berlin, tandis que l'Amérique du Nord jouissait d'une chaleur insolite. C'est une

prairies, de marécages ou bien de sables arides et de grands blocs de rochers.

Sous l'équateur et en Amérique, la limite inférieure des neiges atteint la hauteur du mont Blanc de la chaîne des Alpes, puis elle baisse vers le tropique boréal; les dernières mesures la placent 312 mètres environ plus bas, sur le plateau du Mexique, par 91° de latitude nord. Elle s'élève, au contraire, vers le tropique austral; car Pentland a trouvé que, sur la Cordillère maritime du Chili (de 14° $\frac{1}{2}$ à 18° de latitude australe), cette limite est de 800 mètres plus élevée que sous l'équateur, près de Quito, sur le Chimborazo, le Cotopaxi et l'Antisana. Le docteur Gillies assure même que, par 33° de latitude australe, la limite des neiges éternelles se trouve comprise entre 4420 et 4580 mètres, sur les versants du volcan de Peuquenes. Lorsque le ciel est pur pendant l'été, la sécheresse extrême de l'atmosphère favorise à tel point l'évaporation de la neige, que le volcan d'Aconcagua (au N. O. de Valparaïso, lat. 32° $\frac{1}{2}$) a été vu complétement privé de neige; et pourtant sa hauteur dépasse de 450 mètres celle du Chimborazo, d'après les mesures de l'expédition du Beagle (2).

Presque sur le même cercle de latitude boréale (de 30° $\frac{3}{4}$ à 31°), sur le versant méridional de l'Himalaya, la limite des neiges est située à 3956 mètres de hauteur. En combinant, en comparant des mesures exécutées sur d'autres chaînes de montagnes, on était arrivé à prévoir ce résultat que les mesures directes ont ensuite confirmé. Mais sur le

versant septentrional, placé sous l'influence du plateau thibétain dont la hauteur moyenne paraît être de 3500 mètres, la limite des neiges éternelles remonte plus haut, elle est par 4068 mètres environ. Cette différence a été longtemps controversée en Europe et dans l'Inde, et j'ai moi-même consacré plusieurs écrits, depuis 1820, à développer mes vues sur ce sujet (3). Il s'agissait de l'un de ces grands faits naturels qui n'intéressent pas le physicien seul, car la hauteur des neiges éternelles a dû exercer une influence puissante sur les conditions d'existence des peuples primitifs. Presque toujours de simples données météorologiques ont déterminé, sur de grandes étendues d'un même continent, ici la vie agricole, ailleurs la vie nomade.

Comme la quantité de vapeur contenue dans l'atmosphère augmente avec la température, il en résulte que cet élément doit varier suivant les heures de la journée, les saisons, les latitudes et les hauteurs. Nos connaissances sur l'élément hygrométrique, qui joue un rôle si considérable dans la création organique, ont sensiblement progressé depuis l'introduction d'un nouveau procédé de mesure où l'on trouve une ingénieuse application des idées de Dalton et de Daniell, et dont l'emploi est promptement devenu général; il suffit d'indiquer ici le psychromètre d'Auguste, à l'aide duquel on détermine la différence du point de rosée avec la température de l'air ambiant, et, par suite, la quantité de vapeur contenue dans l'atmosphère. La température, la pression atmosphé-

rique et la direction du vent ont d'intimes rapports avec l'humidité, dont le pouvoir vivifiant ne dépend pas uniquement de la quantité absolue de la vapeur dissoute dans les couches d'air, mais encore de la fréquence et du mode de précipitation de cette vapeur, soit qu'elle humecte le sol sous forme de rosée ou de brouillard, soit qu'elle tombe condensée en gouttes de pluie et en flocons de neige. D'après Dove (4) : « La force élastique de la vapeur d'eau, contenue dans l'atmosphère de notre zone tempérée, est au maximum par le vent de S. O , et au minimum par le vent de N. E. Elle diminue à l'ouest de la rose des vents ; elle va en augmentant, au contraire, dans la région orientale. En effet, du côté de l'ouest, un courant d'air froid, pesant et sec, repousse le courant chaud, léger et humide, tandis que, du côté opposé, c'est le second courant qui refoule le premier. Le courant du S.O. n'est qu'une déviation du courant équatorial, et le courant du N. E. est le seul courant polaire régnant. »

Si quelques contrées des tropiques où il ne tombe jamais de pluie ni de rosée sensibles, et dont le ciel reste complétement pur de nuages pendant cinq et même pendant sept mois, nous offrent cependant un grand nombre d'arbres couverts d'une fraîche et gracieuse verdure, c'est sans doute que les parties appendiculaires (les feuilles) possèdent la faculté d'absorber l'eau de l'atmosphère par un acte particulier à la vie organique, indépendamment de la diminution de température que le rayonnement produit. Les plaines arides de Cumana, de Coro et de Ceara (Brésil

septentrional), que la pluie n'humecte jamais, contrastent avec d'autres régions des tropiques où l'eau du ciel tombe en abondance. A la Havane, par exemple, Ramon de la Sagra a conclu de six ans d'observations qu'il tombe, année moyenne, 2761 millimètres de pluie, c'est-à-dire quatre ou cinq fois plus qu'à Paris et à Genève (5). Sur le versant de la chaîne des Andes, la quantité de pluie annuelle décroît comme la température, à mesure que la hauteur augmente (6). Caldas, un de mes compagnons de voyage dans l'Amérique du Sud, a trouvé qu'à Santa-Fé de Bogota (hauteur 2600 mètres), la quantité de pluie ne dépasse pas 1000 millimètres; ainsi elle y est moins abondante que sur certains points des côtes occidentales de l'Europe. Boussingault a vu plusieurs fois, à Quito, l'hygromètre de Saussure rétrograder jusqu'à 26°, par une température de 12 à 13°. Gay-Lussac, lors de sa célèbre ascension aérostatique, a vu le même instrument de mesure marquer 25°,3 dans des couches d'air situées à 2100 mètres de hauteur. Mais la plus grande sécheresse qui ait été observée jusqu'ici dans les plaines basses, est certainement celle que Gustave Rose, Ehrenberg et moi avons eu l'occasion de mesurer en Asie, entre les bassins de l'Irtysch et de l'Obi, dans la steppe de Platowskaïa. Le vent du sud-ouest avait soufflé longtemps de l'intérieur du continent; la température atmosphérique étant de 23°,7, nous trouvâmes que le point de rosée s'était abaissé à 4°,3 au-dessous de la glace. Ainsi, l'air ne contenait plus que $\frac{16}{100}$ de vapeur d'eau (7). Dans ces derniers temps,

quelques observateurs ont élevé des doutes sur la grande sécheresse que les mesures hygrométriques de Saussure et les miennes semblent indiquer pour l'air des hautes régions des Alpes et des Andes ; mais on s'est borné à comparer l'atmosphère de Zurich à celle du Faulhorn, dont la hauteur ne peut passer pour considérable qu'en Europe seulement (8). Sous les tropiques, près de la région où la neige commence à tomber, c'est-à-dire entre 3600 et 3900 mètres de hauteur, les plantes alpestres, à feuilles de myrte et à grandes fleurs, particulières aux Paramos, sont baignées d'une humidité presque perpétuelle ; mais cette humidité ne prouve pas qu'il existe, à cette élévation, une grande quantité de vapeurs ; elle prouve seulement que la précipitation se réitère souvent. On en peut dire autant des brouillards si communs sur le beau plateau de Bogota. Les couches de nuages se forment et se dissolvent plusieurs fois dans l'espace d'une heure, jeux rapides de l'atmosphère qui caractérisent, en général, les plateaux et les Paramos de la chaîne des Andes.

L'électricité de l'atmosphère se rattache par mille liens à tous les phénomènes de la distribution de la chaleur, à la pression, aux météores aqueux, et, selon toute vraisemblance, au magnétisme dont l'écorce superficielle du globe paraît être douée. Ces rapports intimes se révèlent, soit qu'on considère l'électricité des basses régions de l'air où sa marche silencieuse varie par périodes encore problématiques, soit qu'on l'étudie dans les couches élevées, au sein des nuages

où l'éclair brille, où la foudre éclate avec fracas. Elle exerce une influence puissante sur les deux règnes des plantes et des animaux, d'abord par les phénomènes météorologiques qu'elle fait naître, tels que la précipitation des vapeurs aqueuses et la formation de composés acides ou ammoniacaux, ensuite comme agent spécial excitant directement l'appareil nerveux et les mouvements circulatoires des liquides organiques. Ce n'est point ici le lieu de renouveler d'anciens débats sur l'origine de l'électricité qui se développe dans l'atmosphère par un ciel serein. Nous ne rechercherons pas s'il faut attribuer cette électricité à l'évaporation des eaux impures, chargées de sels et de substances terreuses (9), à la végétation (10), aux nombreuses réactions chimiques dont le sol est le théâtre, à l'inégale répartition de la chaleur dans les couches aériennes (11), ou s'il faut recourir à l'ingénieuse hypothèse par laquelle Peltier explique l'électricité positive de l'atmosphère, en supposant au globe une charge constamment négative (12). Au lieu d'aborder ce vaste champ de discussions, la description physique du monde doit partir des observations électrométriques, telles que les fournit, par exemple, l'ingénieux appareil électro-magnétique proposé par Colladon, pour rechercher comment la tension de l'électricité positive croît avec la hauteur de la station et la rareté des arbres dans les contrées voisines (13); par quelles périodes varient le flux et le reflux diurnes de l'électricité atmosphérique (d'après les recherches instituées à Dublin, par Clarke, ces périodes seraient moins

simples que celles dont j'avais, avec Saussure, reconnu l'existence); et comment la tension varie suivant les saisons, la distance à l'équateur, et la proportion locale de la surface des terres à celle de l'Océan.

S'il est vrai de dire, en thèse générale, que l'équilibre des forces électriques est sujet à des perturbations moins fréquentes, là où l'océan aérien repose sur un fond liquide, que dans les atmosphères continentales, il n'en est que plus frappant de voir, au sein des plus vastes mers, les plus petits groupes d'îles agir sur l'état électrique de l'atmosphère et provoquer la formation des orages. Souvent, dans de longues séries de recherches entreprises par un temps brumeux, ou lorsque la neige commençait à tomber, j'ai vu l'électricité atmosphérique d'abord vitrée, d'une manière permanente, passer subitement à l'électricité résineuse, et j'ai vu ces alternatives se reproduire, à plusieurs reprises, aussi bien dans les plaines des zones froides que sur les Paramos des Cordillères, entre 3200 et 4500 mètres de hauteur. Le phénomène était de tout point semblable à ceux qu'indiquent les électromètres, quelque temps avant et pendant un orage (14). Chaque vésicule de vapeur est entourée d'une petite atmosphère électrique ; quand ces vésicules se ramassent et se condensent en nuages à contours déterminés, l'électricité de chacune d'elles se porte à la surface et contribue à faire croître la tension générale sur l'enveloppe extérieure (15). Les nuages d'un gris ardoisé sont chargés d'électricité résineuse, d'après les recherches de Peltier, à Paris, et les

nuages blancs, roses ou orangés possèdent l'électricité vitrée. Les nuages orageux peuvent se former à toute hauteur. Je les ai vus couronner les plus hautes cimes des Andes; j'ai même trouvé des traces de vitrification opérées par la foudre, sur l'un des rochers en forme de tour qui surplombent le cratère du volcan de Toluca, à 4600 mètres d'élévation. De même, dans les plaines basses des zones tempérées, la hauteur de certains nuages orageux, mesurée dans le sens vertical, a été trouvée de 8000 mètres (16). Mais aussi la couche de nuées qui recèle la foudre peut s'affaisser, et descendre quelquefois à 150 et même à 100 mètres du sol des plaines.

Dans le travail le plus complet que nous possédions jusqu'ici sur une des branches les plus délicates de la météorologie, Arago distingue trois espèces de manifestations lumineuses (les *éclairs*). Il y a des éclairs en zig-zag dont les bords sont nettement terminés. D'autres éclairs sans formes définies illuminent le ciel; quand ils brillent, on dirait que la nue s'entr'ouvre pour leur livrer passage. Ceux de la troisième classe ressemblent à des globes de feu (17). A peine les premiers durent-ils $\frac{1}{1000}$ de seconde; mais les éclairs globulaires sont beaucoup moins rapides, ils peuvent durer plusieurs secondes. Quelquefois, des nuages isolés, situés à une grande hauteur au-dessus de l'horizon, deviennent lumineux sans que le tonnerre se fasse entendre et même sans aucune apparence d'orage. Ce phénomène singulier persiste assez longtemps; il a été signalé d'abord par Nicholson et

supposition tout à fait gratuite que d'espérer un été chaud à la suite d'un hiver rigoureux, ou un hiver doux après un été froid. » La variété, l'opposition même des conditions accidentelles de la température dans deux contrées voisines, ou sur deux continents producteurs de grains, est un bienfait, car il en résulte une sorte d'égalisation dans les prix d'un grand nombre de denrées.

On a justement remarqué que les indications du baromètre se rapportent à toutes les couches d'air situées au-dessus du lieu d'observation (19), jusqu'aux limites extrêmes de l'atmosphère, tandis que celles du thermomètre et du psychromètre sont purement locales et ne s'appliquent qu'à la couche d'air voisine du sol. S'il s'agit d'étudier les modifications thermométriques ou hygrométriques des couches supérieures, il faut procéder à des observations directes sur les montagnes ou à des ascensions aérostatiques. Ces moyens directs manquent-ils? Il faut alors recourir à des hypothèses qui puissent permettre d'employer le baromètre comme instrument de mesure pour la chaleur et l'humidité. Les phénomènes météorologiques les plus importants ne s'élaborent pas, en général, sur le lieu même où ils s'observent : leur origine est ailleurs. Ordinairement ils débutent par une perturbation qui survient au loin dans les courants des hautes régions; puis, de proche en proche, l'air froid ou chaud, sec ou humide de ces courants déviés envahit l'atmosphère, en trouble ou en rétablit la transparence, amasse les nuages aux formes

lourdes et arrondies (*cumulus*), ou les divise et les dissémine en flocons légers comme le duvet (*cirrus*). Ainsi la multiplicité des perturbations se complique encore de l'éloignement des causes souvent inaccessibles, et j'ai peut-être eu raison de croire que la météorologie devait chercher son point de départ et jeter ses racines dans la zone tropicale, région privilégiée, où les vents soufflent constamment dans la même direction, où les marées atmosphériques, la marche des météores aqueux et les explosions de la foudre sont assujetties à des retours périodiques.

Après avoir parcouru le cercle entier de la vie inorganique du globe terrestre, et avoir esquissé à grands traits la forme extérieure de notre planète, sa chaleur interne, sa tension électro-magnétique, les effluves lumineuses de ses pôles, son vulcanisme, c'est-à-dire la réaction de l'intérieur contre l'écorce solide, ses deux enveloppes, la mer et l'océan aérien, il semble que ce tableau soit achevé, et il le serait, en effet, au point de vue de la description physique du monde telle qu'on la concevait autrefois. Aujourd'hui nous proposons un but plus élevé à nos efforts; pour nous, le tableau de la nature serait privé de son plus vif attrait, si l'organisation, avec les phases nombreuses de son développement typique, en était exclue. La notion de la vie est tellement unie, dans toutes nos conceptions, à celle des forces que nous voyons incessamment à l'œuvre dans la nature, soit pour créer, soit

pour détruire, que les mythes des peuples primitifs ont toujours attribué à ces forces l'engendrement des plantes et des animaux, et présenté l'époque où la terre était inanimée et déserte comme celle du chaos primitif et de la lutte des éléments. Mais le domaine des faits, de l'expérience, de l'observation, l'étude descriptive de l'état actuel de notre planète n'ont de place ni pour la recherche des causes premières, ni pour les inabordables questions d'origine.

Enchaînée à la réalité par l'esprit de modération de la science moderne, la description physique du monde reste étrangère, non par timidité, mais par la nature même de son objet et de ses limites, aux obscurs débuts de l'histoire de l'organisation (20) (ici nous prenons le mot *histoire* dans son acception la plus usitée). Une fois ces réserves faites, la description physique du monde doit rappeler que tous les matériaux dont la charpente des êtres vivants est formée se retrouvent dans l'écorce inorganique de la terre. Elle doit montrer les végétaux et les animaux soumis aux mêmes forces qui régissent les corps bruts, et signaler dans les combinaisons ou les décompositions de la matière, l'action des mêmes agents qui donnent aux tissus organiques leurs formes et leurs propriétés : seulement ces forces agissent alors sous des conditions peu connues, que l'on désigne sous le nom vague de *phénomènes vitaux*, et que l'on a groupées systématiquement d'après des analogies plus ou moins heureuses. C'est là ce qui légitime la tendance de notre esprit à poursuivre l'action des forces physiques

jusque dans l'évolution des formes végétales, et dans celle des organismes qui portent en eux-mêmes le principe de leurs mouvements. C'est aussi là ce qui relie le tableau de la nature inorganique à celui de la répartition des êtres vivants à la surface du globe, c'est-à-dire à la *géographie des plantes et des animaux.*

Sans vouloir soulever ici de nouveaux débats sur les différences qui séparent la vie végétative de la vie animale, nous ferons d'abord remarquer que si la nature avait donné la puissance du microscope à nos yeux, et une transparence parfaite aux téguments des plantes, le règne végétal serait loin d'offrir l'aspect de l'immobilité qui nous semble être un de ses attributs. A l'intérieur, le tissu cellulaire des organes est incessamment parcouru et vivifié par les courants les plus divers. Tels sont les courants de rotation qui montent et qui descendent, en se ramifiant, en changeant continuellement de direction; on les observe dans les plantes aquatiques (les naïades, les characées, les hydrocharidées), et dans les plantes terrestres phanérogames. Tel est le fourmillement moléculaire, découvert par le grand botaniste Robert Brown, et dont toute matière, pourvu qu'elle soit réduite à un état de division extrême, doit certainement présenter quelques traces. Tel est le courant gyratoire des globules du cambium (*cyclose*) dans un système de vaisseaux particuliers. Indiquons aussi les filets cellulaires qui s'articulent et s'enroulent en hélice, dans les anthéridies du chara et dans

les organes reproducteurs des hépathiques et des algues, filaments singuliers où Mayen, qui fut enlevé trop tôt aux sciences, croyait retrouver l'analogue des spermatozoaires des animaux. Qu'on ajoute, à ces courants et à cette agitation moléculaire, les phénomènes de l'endosmose, de la nutrition et de la croissance des végétaux, ainsi que les courants formés par les gaz intérieurs, et l'on aura une idée des forces qui agissent, presque à notre insu, dans la vie en apparence si paisible des végétaux.

Depuis l'époque où j'ai décrit, dans les *Tableaux de la Nature*, l'universelle diffusion de la vie sur la surface du globe, et la distribution des formes organiques, soit en hauteur, soit en profondeur, la science a fait d'admirables progrès dans cette voie. Nous devons ces progrès aux belles découvertes d'Ehrenberg « sur la vie microscopique qui règne dans l'Océan et dans les glaces des contrées polaires, » et nous les devons, non à d'heureuses inductions, mais à l'observation directe et à l'étude attentive des faits. Depuis cette époque, la sphère de la vie, disons mieux, l'horizon de la vie s'est élargi devant nous : « Près des deux pôles, là où de grands organismes ne pourraient plus exister, il règne encore une vie infiniment petite, presque invisible, mais incessante. Les formes microscopiques recueillies dans les mers du pôle austral, pendant le voyage du capitaine James Ross, offrent une richesse toute particulière d'organisations inconnues jusqu'ici et souvent d'une élégance remarquable. Dans les résidus de la fonte des

glaces qui flottent en blocs arrondis, par 78° 10′ de latitude, on a trouvé plus de cinquante espèces de polygastriques siliceux, et des coscinodisques dont les ovaires encore verts prouvent qu'ils ont vécu et lutté avec succès contre les rigueurs d'un froid porté à l'extrême. La sonde a puisé dans le golfe de l'Erebus, depuis 403 jusqu'à 526 mètres de profondeur, soixante-huit espèces de polygastriques siliceux et de *phytolitharia*, accompagnés d'une seule espèce de *polythalamia* à carapace calcaire. »

De toutes les formes microscopiques dont l'observation nous a jusqu'à présent révélé l'existence dans l'Océan, les infusoires siliceux sont de beaucoup les plus abondants, quoique l'analyse chimique n'ait pas trouvé de silice parmi les éléments essentiels de l'eau de mer (d'ailleurs la silice ne pourrait exister dans l'eau qu'à l'état de simple mélange ou de suspension). Et ce n'est pas seulement en quelques points isolés, dans les mers intérieures ou près des côtes, que l'Océan est ainsi peuplé de corpuscules doués de vie, invisibles à l'œil nu; le phénomène est général. Depuis les recherches que Schayer a faites en revenant de la terre de Van-Diemen, sur de l'eau puisée dans la mer, au sud du cap de Bonne-Espérance (par 57° de latitude), et au milieu de la zone tropicale, dans l'océan Atlantique, on peut considérer comme démontré que la mer, dans son état normal, en l'absence de toute coloration accidentelle, contient d'innombrables organismes microscopiques tout à fait distincts des filaments siliceux du genre *chætoceros*,

flottant à l'état fragmentaire comme les oscillatoires de nos eaux douces. Quelques polygastriques que l'on a rencontrés mêlés avec du sable et des excréments de pingouins dans les îles Cockburn, paraissent être répandus par toute la terre; d'autres espèces appartiennent aux deux régions polaires (21).

C'est donc la vie animale qui domine dans l'éternelle nuit des profondeurs océaniques, tandis que la vie végétale, stimulée par l'action périodique des rayons solaires, est plus largement répandue sur les continents. La masse des végétaux est incomparablement plus grande que celle des animaux. Les grands cétacés, les lourds pachydermes réunis formeraient une masse insignifiante à côté des troncs d'arbres gigantesques, de 3 à 4 mètres de diamètre, qui remplissent une seule région boisée de l'Amérique du Sud, comme celle qui s'étend entre l'Orénoque, la rivière des Amazones et le Rio da Madeira. S'il est vrai que le caractère de chaque contrée dépende à la fois de tous les détails extérieurs, si les contours des montagnes, la physionomie des plantes et des animaux, l'azur du ciel, la figure des nuages, la transparence de l'atmosphère, concourent à produire ce que l'on peut nommer l'impression totale; il faut reconnaître aussi que la parure végétale dont le sol se couvre est la déterminante principale de cette impression. Les formes animales ne sont point aptes à produire les grands effets d'ensemble; d'ailleurs les individus mêmes, en vertu de leur mobilité propre, se dérobent le plus souvent à nos regards. Au contraire, la créa-

tion végétale frappe l'imagination par l'ampleur de ses formes toujours présentes : ici, la masse annonce l'ancienneté, et, par un privilége unique, l'ancienneté s'y allie à l'expression d'une force toujours renouvelée (22). Dans le règne animal (cette dernière considération ressort encore des découvertes d'Ehrenberg), ce sont précisément les animalcules microscopiques qui, par leur prodigieuse fécondité (23), occupent et remplissent les plus grandes étendues. Les plus petits infusoires, les monadines, dont le diamètre ne dépasse pas la 1500e partie d'un millimètre, forment des couches vivantes de plusieurs mètres d'épaisseur sous le sol des contrées humides.

Chaque zone possède le don de nous présenter, sous une face particulière, la diffusion de la vie à la surface du globe ; mais nulle part l'impression que nous en recevons n'est aussi puissante que sous l'équateur, dans cette patrie des palmiers, des bambous, des fougères arborescentes, où, des bords d'une mer remplie de mollusques et de coraux, le sol s'élève jusqu'à la région des neiges éternelles. Les êtres vivants, dans leur distribution générale, ne sont arrêtés ni par la hauteur, ni par la profondeur. Ils descendent dans l'intérieur de la terre, à la faveur des grandes excavations et des fouilles pratiquées par le mineur ; ils s'insinuent même dans les cavernes naturelles fermées de toutes parts, où les eaux météoriques paraissent seules avoir accès. L'explosion de la poudre ayant entr'ouvert une de ces cavernes, j'en ai trouvé les parois recouvertes de stalactites blanches comme

la neige, sur lesquelles une *usnea* avait dessiné ses délicats réseaux. Des podurelles s'introduisent dans les puits des glaciers du mont Rosa, du Grindelwald et de l'Aar supérieur ; la *chionæa araneoïdes* décrite par Dalman, la *discerea nivalis* microscopique (autrefois nommée *protococcus*) vivent dans les neiges polaires comme dans celles de nos hautes montagnes. La couleur rouge que prend la neige ancienne (24) avait déjà été remarquée par Aristote, sans doute sur les monts de la Macédoine. Sur les hautes cimes des Alpes suisses, quelques rares *lecidea*, des *parmelia*, des *umbilicaria* colorent à peine les roches dépouillées de neige, tandis qu'on voit encore de beaux phanérogames, le *culcitium rufescens* laineux, la *sida pichinchensis*, la *saxifraga Boussingaulti*, fleurir isolément sur les Andes tropicales, à 4550 et même à 4680 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les sources thermales contiennent de petits insectes (*hydroporus thermalis*), des galionelles, des oscillaires et des conferves ; leurs eaux nourrissent le chevelu des racines de végétaux phanérogames. Mais la vie ne se développe pas seulement sur la terre, dans l'eau et dans l'air : elle envahit encore jusqu'aux parties internes les plus variées des animaux. Il y a des animalcules dans le sang de la grenouille et dans celui du saumon. D'après Nordmann, les humeurs de l'œil des poissons sont fréquemment remplies d'une espèce de vers armés de suçoirs (*diplostomum*). Le même naturaliste a découvert, dans les ouïes de l'able, un singulier animalcule double (*diplozoon paradoxon*), muni

de deux têtes et de deux extrémités caudales, en sorte que son développement complet s'opère dans deux directions croisées.

Quoique l'existence des prétendus infusoires météoriques ne fasse même plus l'objet d'un doute, on ne saurait néanmoins refuser d'admettre que des infusoires ordinaires ne puissent être enlevés passivement, par les vapeurs ascendantes, jusque dans les hautes régions de l'air, de manière à flotter quelque temps dans l'atmosphère et à retomber ensuite sur le sol comme le pollen annuel des pins (25). Cette considération est capitale pour l'antique querelle de la *génération spontanée* (26); elle mérite d'autant mieux d'être prise en sérieuse considération, qu'elle peut s'étayer d'une découverte d'Ehrenberg dont j'ai déjà parlé. Les navigateurs rencontrent souvent, à la hauteur des îles du cap Vert, et même à 380 milles marins de la côte d'Afrique, une pluie de poussière fine qui trouble la transparence de l'air comme le ferait un brouillard : or, cette poussière contient les débris de dix-huit espèces d'infusoires polygastriques à carapaces siliceuses.

La géographie des plantes et des animaux peut être envisagée au point de vue de la variété et du nombre relatif des formes typiques; elle recherche alors le mode de distribution dans l'espace des genres et des espèces. Elle peut encore être étudiée par rapport au nombre des individus dont chaque espèce se compose sur une surface donnée. Sous ce dernier point de vue, il est essentiel de distinguer, pour les plantes comme

pour les animaux, entre la vie isolée et la vie sociale. Les espèces auxquelles j'ai donné le nom de *plantes sociales* (27) recouvrent uniformément de grandes étendues; à ces espèces appartiennent un grand nombre de plantes marines, les cladonies et les mousses qui croissent dans les steppes de l'Asie septentrionale: les gazons et les cactées qui croissent réunis comme les tuyaux d'un orgue; les avicennies et les mangles dans les régions tropicales, les forêts de conifères et de bouleaux sur le littoral de la Baltique et dans les plaines de la Sibérie. Ce mode spécial de distribution géographique, joint au port des végétaux, à leur grandeur, à la forme des feuilles et des fleurs, constitue le fait principal du caractère d'une contrée (28). La vie animale, malgré sa variété et son aptitude à faire naître en nous des sentiments de sympathie ou de répulsion, est, nous le répétons, d'un aspect trop mobile et trop insaisissable pour influer bien puissamment sur la physionomie d'un pays: elle lui reste presque étrangère. Les peuples agriculteurs accroissent artificiellement le domaine des plantes sociales; ils donnent ainsi l'aspect d'une nature uniforme à des régions entières des zones tempérées et de la zone boréale; par leurs travaux, ils font disparaître les plantes sauvages, mais ils en propagent d'autres à leur insu, car certaines plantes suivent l'homme jusque dans ses migrations lointaines. La zone tropicale résiste avec plus d'énergie à ces efforts qui tendent impérieusement à modifier l'ordre établi dans la création.

L'idée d'une distribution régulière des formes végétales dut naturellement se présenter aux premiers voyageurs qui purent parcourir rapidement de vastes régions et gravir les montagnes où les climats se trouvent superposés comme par étages. Tels furent, en effet, les premiers essais d'une science dont le nom même était encore à créer. Les zones ou régions végétales que le cardinal Bembo avait distinguées dans sa jeunesse sur les flancs de l'Etna (29), Tournefort les retrouva sur le mont Ararat. Plus tard, Tournefort compara la flore des Alpes avec celles des plaines situées sous différentes latitudes; il montra comment la distribution des végétaux est réglée par la hauteur du sol au-dessus du niveau de la mer, ou par la distance au pôle, quand il s'agit des plaines. Menzel, dans une flore inédite du Japon, émit par hasard le nom de *Géographie des plantes*. Le même nom se retrouve encore dans les *Études de la Nature*, de Bernardin de Saint-Pierre, œuvre d'imagination, il est vrai, mais d'une imagination vive et brillante. C'était trop peu : pour que la géographie des plantes prît rang parmi les sciences, il fallait que la doctrine de la distribution géographique de la chaleur fût fondée et qu'elle pût être rapprochée de celle des végétaux ; il fallait encore qu'une classification par *familles naturelles* permît de distinguer les formes qui se multiplient, de celles qui deviennent plus rares, à mesure que l'on avance de l'équateur vers les pôles, et de fixer les rapports numériques que chaque famille présente, dans chaque contrée, avec la masse entière

des phanérogames de la même région. Je compte au nombre des circonstances les plus heureuses de ma vie, qu'à l'époque où mes vues étaient spécialement tournées vers la botanique, mes recherches aient pu embrasser en même temps les éléments essentiels d'une nouvelle science, et qu'elles aient été si puissamment favorisées par l'aspect d'une nature grandiose où tous les contrastes climatologiques se trouvent réunis.

La distribution géographique des animaux, sur laquelle Buffon a émis, avant tout autre, des vues générales presque toujours justes, a été étudiée d'une manière plus complète, dans ces derniers temps, grâce aux progrès récents de la géographie des plantes. Les courbures des lignes isothermes, des lignes isochimènes surtout, se manifestent vers les limites que certaines espèces végétales et certains animaux à demeures fixes dépassent rarement, soit vers les pôles, soit vers le sommet des montagnes couvertes de neige. Ainsi l'élan vit dans la péninsule Scandinave, sous une latitude plus boréale de 10° que dans l'intérieur de la Sibérie, où les lignes d'égale température moyenne de l'hiver affectent une forme concave si frappante. Les plantes émigrent en germe : les graines d'espèces nombreuses sont munies d'organes particuliers qui leur permettent de voyager à travers l'atmosphère ; la graine, une fois fixée, dépend du sol et de l'air ambiant. Les animaux, au contraire, étendent à leur gré le cercle de leurs migrations, de l'équateur aux pôles ; mais ils l'étendent surtout du côté

où les lignes isothermes se *voûtent*, et où des étés chauds succèdent aux hivers rigoureux. Le tigre royal, par exemple, de tout point identique à celui de l'Inde Orientale, fait chaque été des incursions dans le nord de l'Asie, jusque sous les latitudes de Berlin et de Hambourg. Ce fait a été développé dans un autre ouvrage par M. Ehrenberg et par moi (30).

D'après tout ce que j'ai vu de la terre, dans mes voyages, l'association des espèces végétales, désignée d'ordinaire sous le nom de *Flore*, ne me paraît pas manifester la prédominance de certaines familles, de manière à permettre d'assigner géographiquement la région des ombellacées, la région des solidaginées, celle des labiatées ou des scitaminées. Mes vues personnelles diffèrent, sur ce point, de celles de plusieurs de mes amis, botanistes distingués de l'Allemagne. Ce qui caractérise, à mon avis, les flores du plateau du Mexique, de la Nouvelle-Grenade et de Quito, celles de la Russie d'Europe et de l'Asie septentrionale, ce n'est pas la supériorité numérique des espèces dont la réunion constitue une ou deux familles : ce sont les rapports bien autrement complexes qui naissent de la coexistence d'un grand nombre de familles, et de la quantité relative de leurs espèces. Sans doute les graminées et les cypéracées prédominent dans les prairies et dans les steppes, tout comme les arbres à racines pivotantes, les cupulifères et les bétulinées règnent dans nos forêts du Nord. Mais cette prédominance de certaines formes est purement apparente ; c'est une déception produite

par l'aspect particulier aux plantes sociales. Le nord de l'Europe et la zone sibérienne, située au nord de l'Altaï, ne méritent pas plus le titre de régions des graminées et des conifères, que les immenses Llanos (entre l'Orénoque et la chaîne de Caracas), et les forêts de pins du Mexique. C'est par l'association des formes végétales, lesquelles peuvent se remplacer en partie l'une l'autre, c'est par leur importance numérique relative et leur mode de groupement, que la nature végétale revêt à nos yeux le caractère de la variété et de la richesse, ou celui de la pauvreté et de l'uniformité.

Après avoir pris la cellule simple (31), cette première manifestation de la vie, pour point de départ de ces considérations rapides sur les phénomènes de l'organisation, j'ai dû remonter à des formes de plus en plus élevées dans la série ascendante des êtres. « Quelques granulations mucilagineuses produisent, en se juxtaposant, un *cytoblaste* de figure déterminée, autour duquel un sac membraneux vient se former plus tard et constituer définitivement la cellule close et isolée. » Ce premier travail de l'organisation peut avoir été provoqué par la production antérieure d'une autre cellule déjà formée (32), ou bien l'évolution originelle de la cellule est cachée dans l'obscurité d'une réaction chimique analogue à la fermentation qui engendre les filaments byssoïdes de la levûre. Mais bornons-nous à toucher légèrement le mystère par lequel la vie apparaît sur la terre : la géographie des êtres organisés ne traite que des germes déjà dé-

veloppés; elle détermine la patrie qu'ils adoptent et les régions où ils sont conduits par des influences extérieures; elle recherche leurs rapports numériques; en un mot, elle se borne à décrire leur distribution générale à la surface du globe.

Le tableau général de la nature que j'essaye de dresser serait incomplet, si je n'entreprenais de décrire ici également, en quelques traits caractéristiques, l'*espèce humaine* considérée dans ses nuances physiques, dans la distribution géographique de ses types contemporains, dans l'influence que lui ont fait subir les forces terrestres, et qu'à son tour elle a exercée, quoique plus faiblement, sur celles-ci. Soumise, bien qu'à un moindre degré que les plantes et les animaux, aux circonstances du sol et aux conditions météorologiques de l'atmosphère, par l'activité de l'esprit, par le progrès de l'intelligence qui s'élève peu à peu, aussi bien que par cette merveilleuse flexibilité d'organisation qui se plie à tous les climats, notre espèce échappe plus aisément aux puissances de la nature; mais elle n'en participe pas moins d'une manière essentielle à la vie qui anime notre globe tout entier. C'est par ces secrets rapports que le problème si obscur et si controversé de la possibilité d'une origine commune pour les différentes races humaines, rentre dans la sphère d'idées qu'embrasse la description physique du monde. L'examen de ce problème marquera, si je puis m'exprimer ainsi, d'un intérêt

plus noble, de cet intérêt supérieur qui s'attache à l'humanité, le but final de mon ouvrage. L'immense domaine des langues, dans la structure si variée desquelles se réfléchissent mystérieusement les aptitudes des peuples, confine de très-près à celui de la parenté des races; et ce que sont capables de produire même les moindres diversités de race, nous l'apprenons par un grand exemple, celui de la culture intellectuelle si diversifiée de la nation grecque. Ainsi les questions les plus importantes que soulève l'histoire de la civilisation de l'espèce humaine, se rattachent aux notions capitales de l'origine des peuples, de la parenté des langues, de l'immutabilité d'une direction primordiale tant de l'âme que de l'esprit.

Tant que l'on s'en tint aux extrêmes dans les variations de la couleur et de la figure, et que l'on se laissa prévenir à la vivacité des premières impressions, on fut porté à considérer les races, non comme de simples variétés, mais comme des souches humaines, originairement distinctes. La permanence de certains types (33), en dépit des influences les plus contraires des causes extérieures, surtout du climat, semblait favoriser cette manière de voir, quelque courtes que soient les périodes de temps dont la connaissance historique nous est parvenue. Mais, dans mon opinion, des raisons plus puissantes militent en faveur de l'unité de l'espèce humaine, savoir, les nombreuses gradations (34) de la couleur de la peau et de la structure du crâne, que les progrès rapides de la science géographique ont fait connaître dans les temps

modernes ; l'analogie que suivent, en s'altérant, d'autres classes d'animaux, tant sauvages que privés ; les observations positives que l'on a recueillies sur les limites prescrites à la fécondité des métis (35). La plus grande partie des contrastes dont on était si frappé jadis s'est évanouie devant le travail approfondi de Tiedemann sur le cerveau des Nègres et des Européens, devant les recherches anatomiques de Vrolik et de Weber sur la configuration du bassin. Si l'on embrasse dans leur généralité les nations africaines de couleur foncée, sur lesquelles l'ouvrage capital de Prichard a répandu tant de lumières, et si on les compare avec les tribus de l'archipel méridional de l'Inde et des îles de l'Australie occidentale avec les Papous et les Alfourous (Harafores, Endamènes), on aperçoit clairement que la teinte noire de la peau, les cheveux crépus, et les traits de la physionomie nègre sont loin d'être toujours associés (36). Tant qu'une faible partie de la terre fut ouverte aux peuples de l'Occident, des vues exclusives dominèrent parmi eux. La chaleur brûlante des tropiques et la couleur noire du teint semblèrent inséparables. « Les Éthiopiens, » chantait l'ancien poëte tragique Théodectes de Phaselis (37), « doivent au dieu du soleil, qui s'approche d'eux dans sa course, le sombre éclat de la suie dont il colore leurs corps. » Il fallut les conquêtes d'Alexandre, qui éveillèrent tant d'idées de géographie physique, pour engager le débat relatif à cette problématique influence des climats sur les races d'hommes. « Les familles des animaux et des plantes, » dit un des plus

grands anatomistes de notre âge, Jean Müller, dans sa Physiologie de l'homme, « se modifient durant leur propagation sur la face de la terre, entre les limites qui déterminent les espèces et les genres. Elles se perpétuent organiquement comme types de la variation des espèces. Du concours de différentes causes, de différentes conditions, tant intérieures qu'extérieures, qui ne sauraient être signalées en détail, sont nées les races présentes des animaux; et leurs variétés les plus frappantes se rencontrent chez ceux qui ont en partage la faculté d'extension la plus considérable sur la terre. Les races humaines sont les formes d'une espèce unique, qui s'accouplent en restant fécondes, et se perpétuent par la génération. Ce ne sont point les espèces d'un genre; car, si elles l'étaient, en se croisant, elles deviendraient stériles. De savoir si les races d'hommes existantes descendent d'un ou de plusieurs hommes primitifs, c'est ce qu'on ne saurait découvrir par l'expérience (38). »

Les recherches géographiques sur le siége primordial, où, comme on dit, sur le berceau de l'espèce humaine, ont dans le fait un caractère purement mythique. « Nous ne connaissons, » dit Guillaume de Humboldt, dans un travail encore inédit sur la diversité des langues et des peuples, « nous ne connaissons ni historiquement, ni par aucune tradition certaine, un moment où l'espèce humaine n'ait pas été séparée en groupes de peuples. Si cet état de choses a existé dès l'origine, ou s'il s'est produit plus tard, c'est ce qu'on ne saurait décider par l'histoire. Des légendes

isolées se retrouvant sur des points très-divers du globe, sans communication apparente, sont en contradiction avec la première hypothèse, et font descendre le genre humain tout entier d'un couple unique. Cette tradition est si répandue, qu'on l'a quelquefois regardée comme un antique souvenir des hommes. Mais cette circonstance même prouverait plutôt qu'il n'y a là aucune transmission réelle d'un fait, aucun fondement vraiment historique, et que c'est tout simplement l'identité de la conception humaine, qui partout a conduit les hommes à une explication semblable d'un phénomène identique. Un grand nombre de mythes, sans liaison historique les uns avec les autres, doivent ainsi leur ressemblance et leur origine à la parité des imaginations ou des réflexions de l'esprit humain. Ce qui montre encore dans la tradition dont il s'agit le caractère manifeste de la fiction, c'est qu'elle prétend expliquer un phénomène en dehors de toute expérience, celui de la première origine de l'espèce humaine, d'une manière conforme à l'expérience de nos jours; la manière, par exemple, dont, à une époque où le genre humain tout entier comptait déjà des milliers d'années d'existence, une île déserte ou un vallon isolé dans les montagnes peut avoir été peuplé. En vain la pensée se plongerait dans la méditation du problème de cette première origine; l'homme est si étroitement lié à son espèce et au temps, que l'on ne saurait concevoir un être humain venant au monde sans une famille déjà existante, et sans un passé. Cette question donc ne pouvant être résolue ni par la

voie du raisonnement ni par celle de l'expérience, faut-il penser que l'état primitif, tel que nous le décrit une prétendue tradition, est réellement historique, ou bien que l'espèce humaine, dès son principe, couvrit la terre en forme de peuplades? C'est ce que la science des langues ne saurait décider par elle-même, comme elle ne doit point non plus chercher une solution ailleurs pour en tirer des éclaircissements sur les problèmes qui l'occupent. »

L'humanité se distribue en simples variétés, que l'on désigne par le mot un peu indéterminé de *races*. De même que dans le règne végétal, dans l'histoire naturelle des oiseaux et des poissons, il est plus sûr de grouper les individus en un grand nombre de familles, que de les réunir en un petit nombre de sections embrassant des masses considérables; de même, dans la détermination des races, il me paraît préférable d'établir de petites familles de peuples. Que l'on suive la classification de mon maître Blumenbach en cinq races (Caucasique, Mongolique, Américaine, Ethiopique et Malaie), ou bien qu'avec Prichard on reconnaisse sept races (39) (Iranienne, Touranienne, Américaine, des Hottentots et Bouschmans, des Nègres, des Papous et des Alfourous), il n'en est pas moins vrai qu'aucune différence radicale et typique, aucun principe de division naturel et rigoureux ne régit de tels groupes. On sépare ce qui semble former les extrêmes de la figure et de la couleur, sans s'inquiéter des familles de peuples qui échappent à ces grandes classes et que l'on a nommées, tantôt races

scythiques, tantôt races allophyliques. *Iraniens* est, à la vérité, une dénomination mieux choisie pour les peuples d'Europe que celle de *Caucasiens*; et pourtant il faut bien avouer que les noms géographiques, pris comme désignations de races, sont extrêmement indéterminés, surtout quand le pays qui doit donner son nom à telle où telle race se trouve, comme le Touran ou Mawerannahr, par exemple, avoir été habité, à différentes époques (40), par les souches de peuples les plus diverses, d'origine indo-germanique et finnoise, mais non pas mongolique.

Les langues, créations intellectuelles de l'humanité, et qui tiennent de si près aux premiers développements de l'esprit, ont, par cette empreinte nationale qu'elles portent en elles-mêmes, une haute importance pour aider à reconnaître la ressemblance ou la différence des races. Ce qui leur donne cette importance, c'est que la communauté de leur origine est un fil conducteur, au moyen duquel on pénètre dans le mystérieux labyrinthe, où l'union des dispositions physiques du corps avec les pouvoirs de l'intelligence se manifeste sous mille formes diverses. Les remarquables progrès que l'étude philosophique des langues a faits en Allemagne depuis moins d'un demi-siècle, facilitent les recherches sur leur caractère national (41), sur ce qu'elles paraissent devoir à la parenté des peuples qui les parlent. Mais, comme dans toutes les sphères de la spéculation idéale, à côté de l'espoir d'un butin riche et assuré, est ici le danger des illusions si fréquentes en pareille matière.

Des études ethnographiques positives, soutenues par une connaissance approfondie de l'histoire, nous apprennent qu'il faut apporter de grandes précautions dans cette comparaison des peuples et des langues dont ils se sont servis à une époque déterminée. La conquête, une longue habitude de vivre ensemble, l'influence d'une religion étrangère, le mélange des races, lors même qu'il aurait eu lieu avec un petit nombre d'immigrants plus forts et plus civilisés, ont produit un phénomène qui se remarque à la fois dans les deux continents, savoir, que deux familles de langues entièrement différentes peuvent se trouver dans une seule et même race; que, d'un autre côté, chez des peuples très-divers d'origine peuvent se rencontrer des idiomes d'une même souche de langues. Ce sont les grands conquérants asiatiques qui, par la puissance de leurs armes, par le déplacement et le bouleversement des populations, ont surtout contribué à créer dans l'histoire ce double et singulier phénomène.

Le langage est une partie intégrante de l'histoire naturelle de l'esprit; et bien que l'esprit, dans son heureuse indépendance, se fasse à lui-même des lois qu'il suit sous les influences les plus diverses, bien que la liberté qui lui est propre s'efforce constamment de le soustraire à ces influences, pourtant il ne saurait s'affranchir tout à fait des liens qui le retiennent à la terre. Toujours il reste quelque chose de ce que les dispositions naturelles empruntent au sol, au climat, à la sérénité d'un ciel d'azur, ou au sombre as-

pect d'une atmosphère chargée de vapeurs. Sans doute la richesse et la grâce dans la structure d'une langue sont l'œuvre de la pensée, dont elles naissent comme de la fleur la plus délicate de l'esprit; mais les deux sphères de la nature physique et de l'intelligence ou du sentiment n'en sont pas moins étroitement unies l'une à l'autre, et c'est ce qui fait que nous n'avons pas voulu ôter à notre tableau du monde ce que pouvaient lui communiquer de coloris et de lumière ces considérations, toutes rapides qu'elles sont, sur les rapports des races et des langues.

En maintenant l'unité de l'espèce humaine, nous rejetons, par une conséquence nécessaire, la distinction désolante de races supérieures et de races inférieures (42). Sans doute il est des familles de peuples plus susceptibles de culture, plus civilisées, plus éclairées; mais il n'en est pas de plus nobles que les autres. Toutes sont également faites pour la liberté, pour cette liberté qui, dans un état de société peu avancé, n'appartient qu'à l'individu; mais qui, chez les nations appelées à la jouissance de véritables institutions politiques, est le droit de la communauté tout entière. « Une idée qui se révèle à travers l'histoire en étendant chaque jour son salutaire empire, une idée qui, mieux que toute autre, prouve le fait si souvent contesté, mais plus souvent encore mal compris, de la perfectibilité générale de l'espèce, c'est l'idée de l'humanité. C'est elle qui tend à faire tomber les barrières que des préjugés et des vues intéressées de toute sorte ont élevées entre les hommes,

et à faire envisager l'humanité dans son ensemble, sans distinction de religion, de nation, de couleur, comme une grande famille de frères, comme un corps unique, marchant vers un seul et même but, le libre développement des forces morales. Ce but est le but final, le but suprême de la sociabilité, et en même temps la direction imposée à l'homme par sa propre nature, pour l'agrandissement indéfini de son existence. Il regarde la terre, aussi loin qu'elle s'étend; le ciel, aussi loin qu'il le peut découvrir, illuminé d'étoiles, comme son intime propriété, comme un double champ ouvert à son activité physique et intellectuelle. Déjà l'enfant aspire à franchir les montagnes et les mers qui circonscrivent son étroite demeure; et puis, se repliant sur lui-même comme la plante, il soupire après le retour. C'est là, en effet, ce qu'il y a dans l'homme de touchant et de beau, cette double aspiration vers ce qu'il désire et vers ce qu'il a perdu; c'est elle qui le préserve du danger de s'attacher d'une manière exclusive au moment présent. Et de la sorte, enracinée dans les profondeurs de la nature humaine, commandée en même temps par ses instincts les plus sublimes, cette union bienveillante et fraternelle de l'espèce entière devient une des grandes idées qui président à l'histoire de l'humanité (43). »

Qu'il soit permis à un frère de terminer par ces paroles, qui puisent leur charme dans la profondeur des sentiments, la description générale des phénomènes de la nature au sein de l'univers. Depuis les

nébuleuses lointaines, et depuis les étoiles doubles circulant dans les cieux, nous sommes descendus jusqu'aux corps organisés les plus petits du règne animal, dans la mer et sur la terre; jusqu'aux germes délicats de ces plantes qui tapissent la roche nue, sur la pente des monts couronnés de glaces. Des lois connues partiellement nous ont servi à classer tous ces phénomènes; d'autres lois, d'une nature plus mystérieuse, exercent leur empire dans les régions les plus élevées du monde organique, dans la sphère de l'espèce humaine avec ses conformations diverses, avec l'énergie créatrice de l'esprit dont elle est douée, avec les langues variées qui en sont le produit. Un tableau physique de la nature s'arrête à la limite où commence la sphère de l'intelligence, où le regard plonge dans un monde différent. Cette limite, il la marque et ne la franchit point.

NOTES.

On a supprimé le chiffre des centaines dans les numéros d'ordre des renvois; cette suppression n'occasionnera point d'incertitude, attendu que le numéro du renvoi est toujours accompagné de celui de la page correspondante.

NOTES.

(1) [page 6]. Cette expression est tirée d'une belle description de forêt qui se trouve dans *Paul et Virginie*, de Bernardin de Saint-Pierre.

(2) [page 9]. Ces comparaisons ne sont qu'approximatives ; en voici les éléments exacts, c'est-à-dire les hauteurs au-dessus du niveau de la mer :

Le Schneekoppe ou Riesenkoppe en Silésie, 1606 mètres, d'après Hallaschka ; le Rigi, 1799 m., en admettant 435 m. pour la hauteur de la surface du lac des Quatre-Cantons (Eschmann, *Compte rendu des mesures trigonométriques en Suisse*, 1840, p. 230) ; le mont Athos, 2065 m., d'après le capitaine Gauttier ; le mont Pilate, 2300 m. ; l'Etna, 3314 m., d'après le capitaine Smyth (cette hauteur est de 3315 d'après une mesure barométrique de sir John Herschel, que ce savant voulut bien me communiquer par écrit en 1825, et de 3322 m., d'après les angles de hauteur mesurés par Cacciatore à Palerme, et calculés en admettant 0,076 pour la valeur de la réfraction terrestre) ; le Schreckhorn, 4079 m. ; la Jungfrau, 4181 m., suivant Tralles ; le mont Blanc, 4808 m., d'après diverses mesures discutées par Roger (*Bibl. univ.*, mai 1828, p. 24-53), 4795 m., d'après les mesures prises du mont Colombier, en 1821, par Carlini, et 4800 m., suivant les ingénieurs autrichiens qui ont opéré à Trélod et sur le glacier d'Ambin. La hauteur effective des montagnes de la Suisse varie

d'environ 7 m., suivant Eschmann, à cause de l'épaisseur variable de la couche de neige qui en recouvre les sommités; le Chimborazo, 6529 m., d'après mes mesures trigonométriques (Humboldt, *Recueil d'obs. astr.*, t. I, p. LXXIII); le Dhawalagiri, 8556 m. Comme il se trouve une différence de 136 m. entre les déterminations de Blake et celles de Webb, il faut remarquer ici que l'on ne saurait accorder la même confiance à la mesure du Dhawalagiri (montagne blanche, d'après le sanscrit *dhawala*, blanc, et *giri*, montagne), qu'à celle du Jawahir, 7848 m., car cette dernière repose sur une opération trigonométrique complète (Voy. Herbert et Hogdson dans les *Asiat. Res.*, v. XIV, p. 189, et *Suppl. to Encycl. Brit.*, v. IV, p. 643). J'ai montré ailleurs (*Ann. des scienc. nat.*, mars 1825) que la hauteur de Dhawalagiri (8558 m.) dépend à la fois de plusieurs éléments un peu incertains (azimuts et latitudes astronomiques): Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 282. On a cru, mais sans fondement, qu'il existait dans la chaîne Tartarique (au nord du Thibet, vis-à-vis la chaîne de Kouen-lun) plusieurs pics neigeux de 30000 pieds anglais d'élévation (9144 m., presque le double de la hauteur du mont Blanc), ou au moins de 29000 p. ang. = 8839 m. (*Capt. Alexander Gerard's and John Gerard's Journey to Boorendo Pass*, 1840, v. I, p. 143 et 311). Le Chimborazo n'est indiqué dans le texte que comme « un des pics les plus élevés de la chaîne des Andes », parce qu'en 1827, le savant et habile voyageur, M. Pentland, a mesuré, dans sa mémorable expédition dans le Haut-Pérou (Bolivia), deux montagnes situées à l'est du lac de Titicaca, le Sorata (7696 m.), et l'Illimani (7315 m.) qui dépassent de beaucoup la hauteur du Chimborazo (6530 m.), et qui atteignent presque la hauteur du Jawahir, la plus grande montagne qui ait été mesurée jusqu'à présent dans l'Himalaya. Ainsi, le mont Blanc (4808 m.) est 1721 m. au-dessous du Chimborazo; le Chimborazo, 1165 m. au-dessous du Sorata; le Sorata, 154 m. au-dessous du Jawahir, mais probablement 863 m. au-dessous du Dhawalagiri. Les hauteurs des montagnes

sont rapportées dans cette note avec une exactitude minutieuse, parce que de fausses réductions ont introduit, dans un grand nombre de cartes et de profils récents, des résultats tout à fait erronés. D'après une nouvelle mesure de l'Illimani par Pentland en 1838, la hauteur de cette montagne est de 7275 m.; la différence avec la mesure de 1827 est à peine de 41 m.

(3) [page 9]. L'absence des palmiers et des fougères arborescentes sur les versants tempérés de l'Himalaya, est établie par la *Flora Nepalensis* de Don (1825), ainsi que par les remarquables planches lithographiées de la *Flora Indica* de Wallich, catalogue qui contient l'énorme nombre de 7683 espèces de l'Himalaya, presque toutes phanérogames, mais dont l'étude et la classification sont restées incomplètes. Dans le Népaul (lat. 26° ½ — 27° ¼), nous ne connaissons encore qu'une seule espèce de palmier, le *Chamærops Martiana Wall.* (*Plantæ Asiat.*, t. III, p. 5, t. 211), qui croît à une hauteur de 1600 m. au-dessus du niveau de la mer, dans la vallée ombreuse de Bunipa. La magnifique fougère arborescente *Alsophila Brunoniana Wall.*, dont le Muséum britannique possède depuis 1831 un tronc de 15 m. de longueur, ne croît pas dans le Népaul, mais sur les montagnes de Stilhet, au N.-O. de Calcutta, par 24° 50′ de latitude. La fougère du Népaul, *Paranema cyathoides Don.*, autrefois *Sphæroptera barbata Wall.* (*Pl. Asiat.*, t. I, p. 42, t. 48), se rapproche à la vérité de la *Cyathea* dont j'ai vu, dans les missions de Caripe de l'Amérique du Sud, une espèce de 10 m. de hauteur, mais ce n'est pas un arbre à proprement parler.

(4) [page 10]. *Ribes nubicola*, *R. glaciale*, *R. grossularia.* Les espèces qui caractérisent la végétation de l'Himalaya, sont quatre pins, malgré une assertion des anciens sur « l'Asie orientale » (Strabon, lib. XI, p. 510 Cas.), vingt-cinq chênes, quatre bouleaux, deux *æsculus* (un grand singe blanc à face noire vit sur le châtaignier sauvage haut de 30 m. qui croît dans le royaume de Kachemir, jusqu'au 33ᵉ degré de latitude :

Carl von Hügel, *Kaschmir*, 1840, 2e partie, p. 249, allem.), sept érables, douze saules, quatorze rosiers, trois fraisiers, sept espèces de roses des Alpes (*Rhododendra*), dont une atteint la hauteur de 6 m., et beaucoup d'autres espèces septentrionales. Parmi les conifères, on y trouve le *Pinus Deodwara* ou *Deodara* (en sanscrit *dêwa-dâru*, bois de construction des dieux) qui se rapproche beaucoup du *Pinus cedrus*. Près des neiges éternelles brillent les grandes fleurs de la *Gentiana venusta*, *G. Moorcroftiana*, *Swertia purpurascens*, *S. speciosa*, *Parnassia armata*, *P. nubicola*, *Pæonia Emodi*, *Tulipa stellata;* et même, à côté de ces variétés des genres de l'Europe, particulières aux montagnes de l'Inde, nous trouvons de véritables espèces européennes, telles que le *Leontodon taraxacon*, la *Prunella vulgaris*, le *Galium aparine*, le *Thlaspi arvense*. La bruyère, mentionnée déjà par Saunders dans le Voyage de Turner, et qu'on avait alors confondue avec la *Calluna vulgaris*, est une andromède, fait de la plus haute importance pour la géographie des plantes de l'Asie. Si je me suis servi dans cette note d'expressions peu philosophiques, telles que *genres d'Europe*, *espèces européennes*, *croissant en Asie à l'état sauvage*, c'est une suite de l'emploi du langage de la vieille botanique qui, à l'idée d'une large dissémination ou plutôt de la coexistence des productions organiques, a très-dogmatiquement substitué l'hypothèse fabuleuse d'une immigration qu'elle suppose même, dans sa prédilection pour l'Europe, avoir procédé de l'Occident vers l'Orient.

(5) [page 10]. Sur le versant méridional de l'Himalayâ, la limite des neiges perpétuelles se trouve à 3957 m. au-dessus du niveau de la mer, et sur le versant septentrional, ou plutôt sur les pics qui s'élèvent au-dessus du plateau thibétain (tartarique), cette limite s'élève à 5067 m., depuis 30° $\frac{1}{2}$ jusqu'à 32° de latitude ; tandis qu'à l'équateur, cette limite se trouve sur la chaîne des Andes de Quito à une hauteur de 4813 m. Tel est le résultat que j'ai déduit de

la combinaison d'un grand nombre de données de Webb, de Gerard, de Herbert et de Moorcroft (Voyez mes deux Mémoires sur les montagnes de l'Inde de 1816 et de 1820, dans les *Annales de chimie et de physique*, t. III, p. 303; t. XIV, p. 6, 22, 50). Cette hauteur plus grande, à laquelle la limite des neiges éternelles se trouve reléguée sur le versant thibétain, est la conséquence du rayonnement des hautes plaines voisines, de la pureté du ciel, et de la rare formation de la neige dans un air à la fois très-froid et très-sec. (Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 281-326.) Mon opinion sur la différence de hauteur de la neige des deux côtés de l'Himalaya, avait pour elle la grande autorité de Colebrooke « D'après les documents » que je possède, m'écrivait-il en juin 1824, je trouve aussi » que la hauteur des neiges éternelles est de 13000 pieds anglais (3962 m.). Sur le versant méridional et par 31° de latitude, les mesures de Webb me donnent 13500 pieds anglais » (4114 m.), par conséquent 500 pieds (152 m.) de plus que les » observations du capitaine Hogdson. Les mesures de Gerard » confirment complétement votre opinion, et prouvent que la » ligne des neiges est plus élevée au nord qu'au sud. » C'est cette année seulement (1840), que le journal complet des deux frères Gerard a été imprimé par les soins de M. Lloyd (*Narrative of a Journey from Caunpoor to the Boorendo pass in the Himalaya by capt. Alexander Gerard and John Gerard, edited by George Lloyd*, vol. I, p. 291, 311, 320, 327 et 341). On trouve beaucoup de détails sur quelques localités dans la *Visit to the Shatool, for the purpose of determining the line of perpetual snow on the southern face of the Himalaya, in Aug.* 1822; malheureusement, ces voyageurs confondent sans cesse la hauteur où tombe la neige sporadique avec le maximum de hauteur que la ligne des neiges atteint sur le plateau thibétain. Le capitaine Gerard distingue les sommets qui s'élèvent au milieu du plateau, et il y place la limite des neiges éternelles entre 18000 et 19000 p. angl. (de 5486 à 5791 m.), d'avec les versants septentrionaux de la chaîne de l'Himalaya

qui bordent le défilé traversé par le Sutledge, et dont les flancs, profondément sillonnés, ne peuvent rayonner beaucoup de chaleur. La hauteur du bourg de Tangno est de 9300 p. ang. (2835 m.) seulement, tandis que celle du plateau qui entoure la mer sacrée de Manasa doit être de 17000 p. ang. ou de 5181 m. Aussi, vers le point où la chaîne se trouve interrompue, le capitaine Gerard a-t-il trouvé la neige 500 p. ang. (152 m.) plus bas sur le versant septentrional que sur le versant méridional qui fait face à l'Hindoustan, et il y évalue à 15000 p. ang. (4572) m. la hauteur des neiges éternelles. La végétation du plateau thibétain offre des différences frappantes avec celle des terrasses méridionales qui dépendent de la chaîne de l'Himalaya. Sur ces dernières, les moissons s'arrêtent à 3040 m.; elles sont même souvent fauchées lorsque les tiges sont vertes; la limite supérieure des forêts où croissent encore de grands chênes et des pins Dêvadâru, est à 3645 m.; celle des bouleaux nains, à 3957 m. Sur les plans élevés, le capitaine Gerard a vu des pâturages jusqu'à une hauteur de 5184 m.; les céréales réussissent encore à 4300 et même à 5650 m.; les bouleaux à troncs élevés, à 4300 m., et l'on trouve de petits taillis qui servent de combustible jusqu'à 5200 m., c'est-à-dire 390 m. au-dessus de la limite inférieure des neiges éternelles sous l'équateur, à Quito. Il est d'ailleurs à désirer que la hauteur moyenne du plateau thibétain, fixée par moi à 2500 m. seulement entre l'Himalaya et le Kouen-lun, ainsi que la différence de hauteur des neiges sur le versant du sud et sur celui du nord, soient déterminées de nouveau par des voyageurs habitués à juger de la configuration générale du sol. On a trop souvent confondu jusqu'à présent de simples évaluations avec des mesures effectives, et la hauteur des pics isolés avec celle des plateaux environnants. (Consultez les ingénieuses remarques sur l'hypsométrie de Carl Zimmermann, dans son *Analyse de la carte géographique de l'Asie centrale*, 1841, p. 98, allem.) Lord signale la différence que présentent les deux versants de l'Himalaya et ceux de la chaîne alpine de l'Hindoukouch, par rapport aux limites des

neiges éternelles. «Dans cette dernière chaîne, dit-il, le plateau » est situé au sud, et par suite la hauteur des neiges est plus » grande sur le versant méridional; le contraire a lieu pour l'Hi- » malaya, qui est borné au sud par de chaudes terrasses, comme » l'Hindoukouch l'est au nord. » Les données hypsométriques dont il s'agit ici ont besoin, il est vrai, d'une révision critique pour les détails; elles suffisent toutefois à établir ce fait capital, que l'admirable configuration du sol de l'Asie centrale offre à l'espèce humaine tout ce qui est nécessaire à son développement, l'habitation, la nourriture et le combustible, et cela, à une hauteur au-dessus du niveau de la mer où l'on ne rencontre partout ailleurs que des glaces éternelles. Exceptons toutefois l'aride Bolivia où les neiges sont si rares: Pentland, en 1838, a fixé leur limite à une hauteur moyenne de 4775 m., entre 16° et 17° $\frac{3}{4}$ de latitude australe. Les mesures barométriques de Victor Jacquemont, victime prématurée d'une noble et infatigable ardeur, ont confirmé de la manière la plus complète l'opinion que j'avais émise sur la différence des deux versants de l'Himalaya, par rapport à la hauteur des neiges. (V. sa *Correspondance* pendant son voyage dans l'Inde, 1828-1832, liv. XXIII, p. 290, 296, 299.) « Les neiges perpétuelles, dit Jacquemont, des- » cendent plus bas sur la pente méridionale que sur les » pentes septentrionales, et leur limite s'élève constamment » à mesure que l'on s'éloigne vers le nord de la chaîne qui » borde l'Inde. Sur le col de Kioubrong, à 5581 mètres » de hauteur, selon le capitaine Gerard, je me trouvai en- » core bien au-dessous de la limite des neiges perpétuelles, » que dans cette partie de l'Himalaya je croirais de 6000 mè- » tres. » (évaluation beaucoup trop forte.) « A quelque hau- » teur qu'on s'élève sur le penchant méridional de l'Himalaya, » dit ce voyageur, toujours le climat conserve le même carac- » tère, la même coupe de saisons que dans les plaines de l'Inde; » le solstice d'été y ramène chaque année des pluies qui tom- » bent sans interruption jusqu'à l'équinoxe d'automne. Mais dès » Cachemir, dont j'évalue la hauteur à 5350 p. angl. » (1630 m.,

presque la hauteur des villes de Mexico et de Popayan) « commence un nouveau climat tout à fait différent. » (*Correspond. de Jacquemont*, t. II, p. 58 et 74). L'air chaud et humide de la mer, emporté par les moussons à travers les plaines de l'Inde, arrive et s'arrête aux pentes avancées de l'Himalaya, suivant la remarque ingénieuse de Léopold de Buch, et ne se déverse pas sur les régions thibétaines de Ladak et de Lassa. Carl de Hügel estime la hauteur de la vallée de Cachemir au-dessus du niveau de la mer, à 5818 p. angl. ou à 1775 m., d'après le point d'ébullition de l'eau (IIe part., p. 155, et *Journal of Geog. Soc.*, t. VI, p. 215). Par 34° 7′ de latitude, on trouve plusieurs pieds de neige, depuis décembre jusqu'à mars, dans cette vallée où l'atmosphère n'est presque jamais agitée par les vents.

(6) [page 11]. Voyez en général mon *Essai sur la Géographie des Plantes*, et le *Tableau physique des Régions équinoxiales*, 1807, p 80-88; sur les variations de température du jour et de la nuit, voyez la planche 9 de mon *Atlas géogr. et phys. du Nouveau-Continent*, et les tableaux de mon ouvrage *De distributione geographica plantarum secundum cœli temperiem et altitudinem montium*, 1817, p. 90-116; la partie météorologique de mon *Asie centrale*, t. III, p. 212-224, et enfin l'exposition plus nouvelle et plus exacte des variations que subit la température à mesure qu'on s'élève sur la chaîne des Andes, dans le Mémoire de Boussingault *Sur la profondeur à laquelle on trouve sous les tropiques la couche de température invariable* (*Ann. de chimie et de physique*, 1833, t. LIII, p. 225-247). Ce traité contient les hauteurs de cent vingt-huit points compris entre le niveau de la mer et le versant d'Antisana (5457 m.), ainsi que la détermination de leur température moyenne atmosphérique, laquelle varie, suivant la hauteur, de 27°,5 à 1°,7.

(7) [page 15]. Voyez, sur le Madhjadêça proprement dit, l'excellente *Archéologie indienne* de Lassen, vol. I, p. 92 (all.). Les Chinois appellent *Mo-kie-thi* le Bahar méridional situé au

sud du Gange; voyez *Foe-Koue-Ki*, par Chy-Fa-Hian, 1836, p. 256. Djambu-dwipa est l'Inde entière; mais ce mot signifie aussi quelquefois l'un des quatre continents bouddhiques.

(8) [page 15]. *De la langue Kawi dans l'île de Java*, *avec une Introduction sur les diverses constructions des langues et sur l'influence qu'elles exercent sur le développement de l'esprit humain*, par Guillaume de Humboldt, 1836, vol. I, p. 5-310, allem.

(9) [page 16). Ce vers se trouve dans une élégie de Schiller qui parut pour la première fois dans les *Horen* de 1795.

(10) [page 20]. Le micromètre oculaire d'Arago, perfectionnement heureux du micromètre prismatique ou à double réfraction de Rochon. Voyez la *Note* de M. Mathieu dans l'*Histoire de l'Astronomie au dix-huitième siècle*, par Delambre, 1827, p. 651.

(11) [page 23]. Carus, *Sur les parties rudimentaires des os et des écailles*, 1828, § 6, allem.

(12) [page 24]. Plut., *in Vita Alex. Magni*, cap. 7.

(13) [page 30]. Les déterminations générales acceptées sur le point de fusion des substances réfractaires sont exagérées. D'après les recherches toujours si exactes de Mitscherlich, le point de fusion du granit ne dépasse guère 1300° centig.

(14) [page 31]. Voyez l'ouvrage classique de Louis Agassiz sur les poissons du monde antédiluvien : *Rech. sur les poissons fossiles*, 1834, vol. I, p. 38; vol. II, p. 3, 28, 34; *Addit.*, p. 6. L'espèce entière des *Amblypterus Ag.*, qui se rapproche de celle des *Palæoniscus* (appelés aussi *Palæothrissum*), est enfouie sous les formations du Jura dans l'ancien terrain houiller. Les écailles des poissons de la famille des Lépidoïdes (ordre des Ganoïdes), forment comme des dents à certains endroits et sont recouvertes d'émail; elles appartiennent aux plus anciennes espèces de poissons fossiles après les Placoïdes; on

trouve encore des représentants vivants de ces espèces dans deux poissons, le *Bichir* du Nil et du Sénégal, et le *Lepidosteus* de l'Ohio.

(15) [page 33]. Gœthe, dans ses *Aphorismes sur les sciences naturelles* (Œuvres de G., petite édition de 1833, vol. L, p. 155).

(16) [page 42]. Découvertes d'Arago en 1811 (Delambre, *Histoire de l'Ast.*, passage déjà cité, p. 652).

(17) [page 42]. Gœthe, *Aphorismes sur la Nature* (Œuvres, vol. L, p. 4).

(18) [page 45]. Pseudo-Plato, *Alcib.* II, p. 148, ed. Steph.; Plut., *Instituta Laconica*, p. 253, ed. Hutten.

(19) [page 52]. La *Margarita philosophica* du prieur de la Chartreuse de Fribourg, Gregorius Reisch, parut d'abord sous le titre suivant : *Epitome omnis philosophiæ, alias Margarita philosophica, tractans de omni genere scibili.* L'édition de Heidelberg (1486) et celle de Strasbourg (1504) portent également ce titre; mais la première partie en fut supprimée dans l'édition de Fribourg de la même année, et dans les douze éditions postérieures qui se succédèrent à de courts intervalles jusqu'en 1535. Cet ouvrage a exercé une grande influence sur la diffusion des connaissances mathématiques et physiques vers le commencement du seizième siècle, et Chasles, le savant auteur de l'*Aperçu historique des méthodes en géométrie* (1837), a fait voir combien l'encyclopédie de Reisch est importante pour l'histoire des mathématiques au moyen âge. J'ai tiré parti d'un passage de la *Margarita philosophica* qui se trouve dans une seule édition, celle de 1513, pour éclaircir l'importante question des rapports du géographe de Saint-Dié, Hylacomilus (Martin Waldseemüller, le premier qui ait donné le nom d'Amérique au Nouveau-Continent), avec Amerigo Vespucci, avec le roi René de Jérusalem, duc de Lorraine, et les célèbres éditions de Ptolémée de 1513 et de 1522. Voyez mon *Examen critique de la géographie du Nouveau-Continent et des*

progrès de l'astronomie nautique aux 15e *et* 16e *siècles*, t. IV, p. 99-125.

(20) [page 52]. Ampère, *Essai sur la phil. des sciences*, 1834, p. 25. Whewell, *Induct. phil.*, t. II, p. 277. Park, *Pantology*, p. 87.

(21) [page 53]. Tous les changements dans le monde physique peuvent se ramener aux mouvements. Aristot., *Phys. ausc.*, III, 1 et 4, p. 200 et 201. Bekker, VIII, 1, 8 et 9, p. 250, 262 et 265. *De genere et corr.*, II, 10, p. 386. Pseudo-Aristot., *de Mundo*, cap. 6, p. 398.

(22) [page 59]. Sur la différence qui existe entre l'attraction des masses et l'attraction moléculaire, question déjà soulevée par Newton, voyez Laplace, *Exposition du système du Monde*, p. 384, et le *Supplément au livre X de la Mécanique cél.*, p. 3 et 4. (Kant, *Fondements métaphysiques de la science de la nature*, Œuvres complètes, 1839, vol. V, p. 309, allem.; Péclet, *Physique*, 1838, t. I, p. 59-63.)

(23) [page 61]. Poisson, *Connaissance des temps pour l'année* 1836, p. 64-66. Bessel, *Annales de phys. de Poggendorff*, vol. XXV, p. 417. Encke, *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1826, p. 257. Mitscherlich, *Leçons de chimie*, 1837. vol. I, p. 352.

(24) [page 62]. Cf. Otfried Müller, *les Doriens*, vol. I, p. 365, allem.

(25) [page 64]. *Geographia generalis in qua affectiones generales telluris explicantur*. La plus ancienne édition d'Elzévir est de 1650; la deuxième (1672) et la troisième (1681) ont été publiées à Cambridge par Newton. Cette œuvre capitale de Varenius est, dans le véritable sens du mot, une description physique de la terre. Depuis la description du Nouveau-Continent, esquissée avec talent par le jésuite Joseph de Acosta (*Historia natural de las Indias*, 1590), jamais les questions

qui se rattachent à la physique du globe n'avaient été envisagées d'une manière aussi générale. Acosta est plus riche d'observations ; Varenius embrasse un cercle d'idées plus étendu, parce que son séjour en Hollande, centre des plus vastes relations commerciales de l'époque, l'avait mis en rapport avec un grand nombre de voyageurs instruits. *Generalis sive universalis geographia dicitur, quæ tellurem in genere considerat atque affectiones explicat, non habita particularium regionum ratione.* La description générale de la terre par Varenius (*Pars absoluta*, cap. I-XXII) est, dans son ensemble, un traité de géographie comparée, pour adopter ici le terme employé par l'auteur lui-même (*Geographia comparativa* cap. XXXIII-XL), mais dans une acception beaucoup plus restreinte. On peut citer parmi les passages les plus remarquables de ce livre : l'énumération des systèmes de montagnes et l'examen des rapports qui existent entre leurs directions et la forme générale des continents (p. 66-76, ed. Cantabr., 1681); une liste des volcans éteints et des volcans en activité ; la discussion des faits relatifs à la répartition générale des îles et des archipels (p. 220), à la profondeur de l'Océan par rapport à la hauteur des côtes voisines (p. 103), à l'égalité du niveau de toutes les mers ouvertes (p. 97), à la dépendance qui relie les courants aux vents régnants ; l'inégale salure des mers ; la configuration des côtes (p. 139) ; la direction des vents comme suite des différences de température, etc. . Citons encore comme fort remarquables les considérations de V. sur le courant équinoxial d'orient en occident ; il attribue, à ce courant, l'origine du Gulf-Stream qui commence dès le cap San-Augustin et disparaît entre Cuba et la Floride (p. 140). Rien de plus exact que sa description du courant qui longe la côte occidentale de l'Afrique, entre le cap Vert et l'île de Fernando Po, dans le golfe de Guinée. Varenius explique par le « soulèvement du fond de la mer » la formation des îles sporadiques : *magna spirituum inclusorum vi, sicut aliquando montes e terra protusos esse quidam scribunt* (p. 225). L'édi-

tion publiée par Newton en 1681 (*auctior et emendatior*) ne contient malheureusement aucune addition de ce grand homme; on n'y trouve même aucune mention de l'aplatissement du globe terrestre, quoique les expériences de Richer sur le pendule fussent antérieures de neuf années à l'édition de Cambridge. Au reste, les *Principia mathematica Philosophiæ naturalis* de Newton ne furent communiqués en manuscrit, à la Société royale de Londres, qu'en avril 1686. Il reste beaucoup d'incertitude sur la patrie de Varenius; ce serait l'Angleterre, d'après Jœcher; la *Biographie universelle* (t. XLVII, p. 495) le fait naître à Amsterdam; mais il ressort de la dédicace de sa *Géographie générale* au bourgmestre de cette ville, que ces deux suppositions sont fausses. Varenius dit expressément qu'il s'est réfugié à Amsterdam, «parce que sa ville natale avait été brûlée et complétement détruite pendant une longue guerre»; or ces mots paraissent s'appliquer au nord de l'Allemagne et aux dévastations de la guerre de trente ans. Dans la dédicace d'un autre ouvrage, *Descriptio regni Japoniæ* (Amst., 1649), au sénat de Hambourg, Varenius dit qu'il a fait ses premières études mathématiques dans le gymnase de cette ville. Il y a donc tout lieu de croire que cet ingénieux géographe est né en Allemagne, probablement à Lunebourg. (Witten, *Mem. Theol.*, 1685, p. 2142. Zedler, *Universal-Lexikon*, vol. XLVI, 1745, p. 187).

(26) [page 64]. *La Science géographique générale comparée, ou Étude de la terre, dans ses rapports avec la nature et avec l'histoire de l'homme*, par Carl Ritter (traduit de l'allemand par E. Buret et E. Desor).

(27) [page 66] Κόσμος, dans l'acception la plus ancienne, et dans le sens propre de ce mot, signifie parure (ornement de l'homme, de la femme ou du cheval); pris dans le sens figuré pour εὐταξία, il signifie ordre et ornement du discours. De l'aveu de tous les anciens, c'est Pythagore qui, le premier, a employé ce mot pour désigner l'ordre dans l'univers et l'uni-

vers lui-même. Pythagore n'a jamais écrit, mais des preuves fort anciennes de cette assertion se trouvent dans plusieurs passages des fragments de Philolaüs (Stob. *Eclog.*, p. 360 et 460, Heeren, le *Philolaüs* de Bœckh, p. 62 et 90, allem.). A l'exemple de Næke, nous ne citons point Timée de Locres, parce que son authenticité est douteuse. Plutarque (*de Plac. phil.*, II, 1) dit, de la manière la plus nette, que Pythagore donna le nom de Cosmos à l'univers, à cause de l'ordre qui y règne (de même, Galen. *Hist. phil.*, p. 429). Des écoles philosophiques, ce mot, avec sa signification nouvelle, passa dans les écrits des poëtes et des prosateurs. Platon désigne les corps célestes par le nom d'*Uranos*; mais l'ordre des cieux est aussi pour lui le *Cosmos*, et dans son *Timée* (p. 30, β) il dit que *le monde est un animal doué d'une âme* (κόσμον ζῶον ἐμψύχον). Sur l'esprit séparé de la matière, ordonnateur du monde, cf. Anaxag. Claz., ed. Schaubach, p. 111, et Plut., *de Plac. phil.*, II, 3). Dans Aristote (*de Cœlo*, I, 9), le *Cosmos* est « l'univers et l'ordre de l'univers; » mais il est aussi considéré comme se divisant dans l'espace en deux parties : le monde sublunaire et le monde situé au-dessus de la lune (*Meteor.*, I, 2, 1, et I, 3, 13, p. 339, a, et 340, b. Bekk.). La définition du *Cosmos* que j'ai citée plus haut dans le texte, est tirée du Pseudo-Aristoteles, *de Mundo*, cap. II (p. 391); elle est ainsi ainsi conçue : Κόσμος ἐστὶ συστήμα ἐξ οὐρανοῦ καὶ γῆς καὶ τῶν ἐν τούτοις περιεχομένων φυσέων. Λέγεται δὲ καὶ ἑτέρως κόσμος ἡ τῶν ὅλων τάξις τε καί διακόσμησις, ὑπὸ θεῶν τε καὶ διὰ θεῶν φυλαττομένη. La plupart des passages des auteurs grecs sur le *Cosmos* se trouvent rassemblés, d'abord dans la controverse de Richard Bentley contre Charles Boyle (*Opuscula philologica*, 1781, p. 347, 445; *Dissertation upon the Epistles of Phalaris*, 1817, p. 254) sur l'existence historique de Zaleucus, législateur de Locres; ensuite dans l'excellent ouvrage de Næke, *Sched. crit.*, 1812, p. 9-15, et enfin dans Théophile Schmidt, *ad Cleom. cycl. theor. met.*, I, 1 (p. IX et 99). Pris dans une acception plus restreinte,

le mot *Cosmos* a été aussi employé au pluriel (Plut., I, 5) pour désigner les étoiles (Stob., I, p. 514. Plut., II, 13) ou les innombrables systèmes disséminés comme autant d'îles dans l'immensité des cieux, et formés chacun d'un soleil et d'une lune (Anax. Claz., *Fragm.*, p. 89, 93, 120; Brandis, *Histoire de la Phil. gréco-romaine*, vol. I, p. 252). Chacun de ces groupes formant ainsi un *Cosmos*, l'univers, τὸ πᾶν, doit avoir une signification plus large (Plut., II, 1). Ce fut longtemps après le siècle des Ptolémées que ce mot fut appliqué à la terre. Bœckh a fait connaître des inscriptions à la louange de Trajan et d'Adrien (*Corpus Inscr. Græc.*, t. I, n°s 334 et 1306), où κόσμος est mis pour οἰκουμένη, de même que, par *monde*, on entend souvent la terre seule. Nous avons déjà indiqué cette division singulière des espaces célestes en trois parties, l'*Olympe*, le *Cosmos* et l'*Ouranos* (Stob., I, p. 488; Philolaüs, p. 94-102); elle s'applique aux régions diverses qui entourent ce foyer mystérieux de l'univers, cette Ἑστία τοῦ παντός des Pythagoriciens. Dans le fragment qui nous a conservé cette division, le nom d'*Uranos* désigne la région la plus intérieure, située entre la lune et la terre; c'est le domaine des choses changeantes. La région moyenne, où les planètes circulent dans un ordre invariable et harmonieux, est nommée exclusivement *Cosmos*, en vue de conceptions très-particulières sur l'univers. Quant à l'Olympe, c'est la région extérieure, la région ignée. Un profond investigateur des affinités des langues, Bopp, fait remarquer que « l'on peut déduire, » comme l'a fait Pott (*Recherches étymologiques*, part. I, p. 39 » et 252, allem.), le mot κόσμος de la racine sanscrite *śud'*, *purificari*, en s'appuyant sur deux considérations: d'abord, le » κ grec, dans κόσμος, vient de la palatale *ś*, que Bopp représente par *ś* et Pott par *ç*; de même δέκα, *decem*, en langue » gothique *taihun*, vient du mot indien *daśan*; en second lieu, » le *d'* indien correspond, en règle générale, au θ grec (*Gramm.* » *comparée*, § 22, allem.), ce qui achève de mettre en évi» dence le rapport de κόσμος (pour κόθμος) avec la racine

» sanscrite *sud'*, d'où vient aussi καθαρός. Une autre expres» sion indienne pour désigner le monde, est *gagat* (prononcez » *dschagat*); c'est proprement le participe présent du verbe » *gagâmi* (*je vais*), dont la racine est *gâ*). » En restant dans le cercle des étymologies de la langue grecque, on trouve (*Étymol. M.*, p. 532, 12) que κόσμος se lie immédiatement à κάζω, ou plutôt à καίνυμαι (d'où κεκασμένος ou κεκαδμένος). Welcker (*Une colonie crétoise à Thèbes*, p. 23, allem.) y rattache en outre le nom de Κάδμος, de même que, dans Hésychius, κάδμος signifie une prise d'armes chez les Crétois. Lorsque le langage scientifique des Grecs s'introduisit chez les Romains, le mot *mundus*, qui avait à l'origine la signification première du mot κόσμος (ornement de femme), servit à désigner le monde et l'univers. Ennius paraît avoir osé, le premier, cette nouveauté. Dans un des fragments de ce poëte, que Macrobe nous a conservés à l'occasion de sa querelle avec Virgile, on trouve ce mot employé dans l'acception nouvelle : « *Mundus cœli vastus constitit silentio* » (*Sat.*, VI, 2). Cicéron a dit aussi : *quem nos lucentem mundum vocamus.* (Timæus, *s. de univ.*, cap. X). Au reste, la racine sanscrite *mand*, d'où Pott fait dériver le mot latin *mundus* (*Rech. étym.*, part. I, p. 240), réunit la double signification de briller et d'orner. *Lôka* désigne en sanscrit le monde et les hommes, comme le mot français *monde*, et dérive, suivant Bopp, de *lôk* (voir et briller); il en est de même de la racine slave *swjet*, qui veut dire à la fois *lumière* et *monde* (Grimm, *Gramm. allem.*, vol. III, p. 394, allem.). Quant au mot dont les Allemands se servent aujourd'hui (*welt*, en vieil allemand *wëralt*, en vieux saxon *worold* et *wëruld* en anglo-saxon), sa signification originaire aurait été, suivant Jacob Grimm, celle d'un laps de temps, d'un âge d'homme (*sæculum*), et non pas celle du *mundus* dans l'espace. Les *Etrusques* se figuraient le monde comme une voûte renversée et symétriquement opposée à la voûte céleste (Otfried Müller, *Les Étrusques*, part. II, p. 96, 98 et 143, allem.). Pris dans une acception plus étroite encore,

le monde paraît avoir été, pour les Goths, la surface terrestre entourée d'une ceinture de mers (*marei, meri*); ils l'appelaient *merigard*, littéralement *jardin des mers.*

(28) [page 67]. Voyez sur Ennius, les recherches ingénieuses de Léopold Krahner, dans son *Esquisse historique de la décadence de la religion de l'État chez les Romains*, 1837, p. 41-45. Selon toute probabilité, Ennius n'a pas puisé dans les fragments d'Épicharme, mais dans des poëmes composés sous le nom de ce philosophe, et conçus dans le sens de son système.

(29) [page 69]. Aull. Gell., *Noct. att.*, V. 18.

(30) [page 78]. *Bruno*, ou *Du principe divin et naturel des choses*, par J. de Schelling, traduit de l'allemand par Husson, 1845, p. 204.

(31) [page 89]. Les considérations relatives à la différence qui existe, sous le rapport de la clarté, entre un point lumineux et un disque de diamètre angulaire appréciable, ont été développées par Arago, dans l'*Analyse des travaux de sir William Herschel.* (*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1842, p. 410-412 et 441.)

(32) [page 91]. « Les deux nuées Magellaniques, *Nubecula major et minor*, sont des objets fort remarquables. La plus grande se compose d'amas stellaires irréguliers, d'amas sphériques et d'étoiles nébuleuses plus ou moins grandes, entremêlées de nébulosités irréductibles. Selon toute vraisemblance, ces dernières ne sont autre chose qu'une poussière stellaire (star-dust); mais le télescope de 20 pieds, lui-même, est impuissant à les résoudre en étoiles. Elles produisent une clarté générale dont le champ de la vision est illuminé, et les autres objets se trouvent disséminés sur ce fond brillant. Aucune autre région du ciel ne renferme autant de nébuleuses et

d'amas d'étoiles dans le même espace. La *Nubecula minor* est beaucoup moins belle; elle présente plus de nébulosités irréductibles, et les amas stellaires y sont à la fois moins nombreux et moins brillants. » (Extrait d'une lettre de sir John Herschel, datée de Feldhuysen, au cap de Bonne-Espérance, 13 juin 1836.)

(33) [page 92]. Cette belle expression χόρτος οὐρανοῦ, empruntée par Hesychius à un poëte inconnu, aurait pu être citée déjà, à l'occasion des *Champs célestes* (Himmels-Garten, littéralement : jardins du ciel), si le mot χόρτος n'eût été plus ordinairement employé à désigner, d'une manière générale, l'espace compris dans une enceinte. Au reste, on ne peut méconnaître l'affinité de ce mot avec le *Garten* des Allemands (en langue gothique *gards*, lequel dérive, d'après Jacob Grimm, de *gairdan*, cingere, ou avec le *grad*, *gorod* du Slave, avec le *khart* des Ossètes, et, suivant Pott (*Recherches étymologiques*, P. I, p. 144, en allem.), avec le *chors* des Latins (d'où *corte*, cour). Citons encore le *gard*, *gård* des langues du Nord (une clôture, et par suite, un enclos, une résidence) et les mots persans *gerd*, *gird*, enceinte, cercle, puis une résidence princière, un château ou une ville, comme on le voit par les anciens noms de lieux que l'on rencontre dans le Schahnameh de Firdusi; *Siyawakchgird*, *Darabgird*, etc.

(34) [page 95]. L'erreur probable de la parallaxe de α du Centaure, déterminée par Maclear, est de 0″,064 (*Résultats de* 1839 *et de* 1840). Voyez les *Transact. of the Astron. Soc.*, vol. XII, p. 370. Pour la parallaxe de la 61° du Cygne, voy. Bessel, dans l'*Annuaire* de Schumacher, 1839, p. 47-49 : erreur moyenne 0″,014. Quant à l'idée que nous devons nous faire de la figure réelle de la voie lactée, je trouve, dans Képler, ce passage remarquable (*Epitome Astronomiæ Copernicanæ*, 1618, t. I, lib. I, p. 34-39) : « Sol hic noster nil aliud est quam una ex fixis, nobis major et clarior visa, quia propior

quam fixa. Pone Terram stare ad latus, uno semidiametro viæ lacteæ, tunc hæc via lactea apparebit circulus parvus, vel ellipsis parva, tota declinans ad latus alterum; eritque simul uno intuitu conspicua, quæ nunc non potest nisi dimidia conspici quovis momento. Itaque fixarum sphæra non tantum orbe stellarum, sed etiam circulo lactis versus nos deorsum est terminata. »

(35) [page 98.] « Si, dans les zones abandonnées par l'atmosphère du Soleil, il s'est trouvé des molécules trop volatiles pour s'unir entre elles ou aux planètes, elles doivent, en continuant de circuler autour de cet astre, offrir toutes les apparences de la lumière zodiacale, sans opposer de résistance sensible aux divers corps du système planétaire, soit à cause de leur extrême rareté, soit parce que leur mouvement est à fort peu près le même que celui des planètes qu'elles rencontrent. » Laplace, *Exp. du Syst. du Monde* (5e édit.), p. 415.

(36) [page 99]. Laplace, ouvrage cité, p. 396 et 414.

(37) page 99]. Littrow, *Astronomie*, 1825, vol. II, p. 107, all.; Mædler, *Astr.*, 1841, p. 212, all.; Laplace, ouvr. cité, p. 210.

(38) [page 101]. Képler, sur la densité décroissante et le volume croissant des planètes, à mesure que la distance au Soleil augmente; il considère l'astre central (le Soleil) comme le plus dense de tous les astres. Voyez son *Epitome Astron. Copern. in* VII *libros digesta*, 1618-1622, p. 420. De même que Képler et Otto de Guericke, Leibnitz pensait que les volumes des planètes croissent en raison de leurs distances au Soleil. Voyez sa lettre au bourgmestre de Magdebourg (Mayence, 1671), dans la collection des *Écrits allemands de Leibnitz*, éditée par Guhrauer, 1re partie, p. 264.

(39) [page 101]. Pour la comparaison des masses, voy. Encke, dans les *Nouvelles astronomiques* de Schumacher, 1843, n° 488, p. 114, all.

(40) [page 104]. En admettant avec Burckhardt, 0,2725 pour le diamètre de la Lune, et $\frac{1}{49,09}$ pour son volume, on trouve 0,5596, ou $\frac{5}{9}$ à peu près, pour sa densité. V. aussi G. Beer et H. Mædler, *la Lune*, p. 2 et 10, allem.; et l'*Astronomie* de Mædler, p. 157, allem. D'après Hansen, le volume de notre satellite est $\frac{1}{54}$ environ ($\frac{1}{49,6}$, suivant Mædler), et sa masse est $\frac{1}{87,73}$, le volume et la masse de la Terre étant pris respectivement pour unités. Pour le troisième satellite de Jupiter, le plus grand de tous, les rapports de la planète centrale sont $\frac{1}{15370}$ en volume et $\frac{1}{11300}$ pour les masses. Quant à l'aplatissement d'Uranus, voy. les *Nouv. astron.* de Schum., 1844, n° 493.

(41) [p. 109]. Beer et Mædler, ouvr. cité, § 185, p. 208, et § 347, p. 332; mêmes auteurs : *Description physique des Astres*, p. 4 et 69, tab. I, allem.

(42) [page 111]. Les quatre plus anciennes comètes dont on ait pu calculer les orbites, ont été observées par les Chinois ; ce sont celles de l'an 240 (sous Gordien III), de 539 (sous Justinien), de 565 et de 837. Suivant Duséjour, cette dernière comète serait restée, pendant 24 heures, à moins de 400000 myriamètres de la Terre. Son apparition effraya tellement Louis le Pieux, que ce prince crut devoir fonder plusieurs couvents afin de conjurer le danger. Pendant ce temps, les astronomes chinois observaient d'une manière vraiment scientifique la trajectoire apparente du nouvel astre; ils mesurèrent la queue, longue de 60°; ils en décrivirent les variations, car elle fut tantôt simple, tantôt multiple. La première comète dont l'orbite ait été calculée sur les seules observations européennes, est celle de 1456, une des apparitions de la comète de Halley; elle a même passé longtemps, mais à

tort, pour la première apparition bien certaine de cette fameuse comète. Arago, dans l'*Annuaire* de 1836, p. 204. Voyez aussi plus bas la note (56).

(43) [page 112]. Arago, dans l'*Annuaire* de 1832, p. 209-211. La comète de 1402 fut visible en plein soleil, comme la comète de 1843. Cette dernière a été vue, aux États-Unis, le 28 février, entre une heure et trois heures de l'après-midi, par J.-G. Clarke (à Portland, État du Maine). On a pu mesurer avec une grande précision la distance du noyau au bord du Soleil. Ce noyau devait être fort dense; la comète présentait l'apparence d'un nuage blanc, à contours très-nets; seulement il y avait un espace obscur entre le noyau et la queue. (*Amer. Journ. of Science*, vol. XLV, n° 1, p. 229; *Nouv. astr.* de Schumacher, 1843, n° 491, p. 175.)

(44) [page 112]. *Philos. Transact. for* 1808, P. II, p. 155; *for* 1812, P. I, p. 118. Les diamètres des noyaux mesurés par Herschel, étaient de 538 et de 428 milles anglais. Pour les dimensions des comètes de 1798 et de 1805, voy. Arago, dans l'*Annuaire* de 1832, p. 203.

(45) [page 114]. Arago, *Des changements physiques de la comète de Halley, du 15 au 23 octobre* 1835, dans l'*Annuaire* de 1836, p. 218-221. La direction que les queues des comètes affectent ordinairement était bien connue du temps de Néron: *Comæ radios solis effugiunt*, dit Sénèque, *Nat. Quæst.*, VII, 20.

(46) [page 115]. Bessel, dans les *Nouv. astr.* de Schum., 1836, n° 300-302, p. 188, 192, 197, 200, 202 et 230. Le même auteur, dans l'*Annuaire* de Schum., 1837, p. 149-168. W. Herschel a cru trouver, dans la belle comète de 1811, des indices d'un mouvement de rotation dont le noyau et la queue auraient été animés (*Phil. Transact. for* 1812, P. I, p. 140); la même remarque a été faite par Dunlop, à Paramatta, sur la troisième comète de 1825.

(47) [page 116]. Bessel, dans les *Nouv. astr.* de Schum., 1836, n° 303, p. 231. (*Annuaire* de Schum., 1837, p. 175.) Voyez aussi Lehmann, sur les queues des comètes, dans l'*Ann. astron.* de Bode, pour 1826, p. 168.

(48) [page 116]. Aristot., *Meteor.*, I, 8, 11-14 et 19-21 (ed. Ideler, t. I, p. 32-34). Biese, *Philos. d'Aristote*, vol. II, p. 86, all. Quand on songe à l'influence qu'Aristote a exercée pendant tout le moyen âge, on ne peut trop déplorer l'hostilité de ce grand homme contre les belles idées des anciens Pythagoriciens sur la structure de l'univers. Dans le même livre où Aristote rappelle que l'école de Pythagore considère les comètes comme autant de planètes à longues périodes, il déclare, lui, que les comètes sont de simples météores passagers qui naissent et se dissipent dans notre atmosphère. De l'école de Pythagore, ces idées, dont Apollonius de Mynde fait remonter l'origine aux Chaldéens, arrivèrent aux Romains qui se bornèrent à les reproduire, comme ils firent de toute chose. Le philosophe de Myndie, en décrivant les orbites cométaires, dit qu'elles pénètrent profondément dans les régions supérieures du ciel; là-dessus Sénèque s'exprime ainsi (*Nat. Quæst.*, VII, 17) : *Cometes non est species falsa, sed proprium sidus sicut Solis et Lunæ : altiora mundi secat et tunc demum apparet quum in imum cursum sui venit;* il ajoute (VII, 27) : *Cometas æternos esse et sortis ejusdem cujus cætera (sidera), etiamsi faciem illis non habent similem.* Pline (II, 25) fait également allusion aux idées d'Apollonius de Mynde, lorsqu'il dit : *Sunt qui et hæc sidera perpetua esse credant suoque ambitu ire, sed non nisi relicta a Sole cerni.*

(49) [page 116]. Olbers, *Nouv. astr.*, 1828, p. 157 et 184. Arago, *De la constitution physique des comètes* (*Annuaire* de 1832, p. 203-208). Déjà les anciens avaient été frappés de ce que l'on peut voir à travers les comètes comme à travers une flamme. La plus ancienne observation d'étoiles restées visibles malgré l'interposition d'une comète remonte à Démocrite

(Aristote, *Meteor.*, I, 6, 11). Ce fait a donné à Aristote l'occasion de rapporter qu'il avait lui-même observé l'occultation d'une étoile des Gémeaux par Jupiter. Sénèque a dit : « On voit les étoiles à travers une comète comme à travers un nuage. » (*Nat. Quæst.*, VII, 18); à la vérité, ces paroles ne doivent pas s'entendre du corps même de la comète, mais seulement de la queue, car Sénèque ajoute : « *non in ea parte qua sidus ipsum est spissi et solidi ignis, sed qua rarus splendor occurrit et in crines dispergitur. Per intervalla ignium non per ipsos vides.* » (VII, 26). Cette dernière restriction était superflue; car on peut voir à travers une flamme dont l'épaisseur n'est pas trop forte. Galilée ne l'ignorait pas : il a fait à ce sujet des recherches dont il parle dans le *Saggiatore* (*Lettera a Monsignor Cesarini*, 1619).

(50) [page 116]. Bessel, dans les *Nouv. astron.*, 1836, n° 301, p. 204-206. Struve, dans le *Recueil des Mém. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, 1836, p. 140-143, et dans les *Nouv. astron.*, 1836, n° 303, p. 238. « A Dorpat, l'étoile qui se trouvait en conjonction avec la comète, n'était qu'à 2″,2 du point le plus brillant du noyau. L'étoile ne cessa pas d'être visible; sa lumière ne parut même pas affaiblie, tandis que le noyau de la comète fut comme éclipsé par l'éclat plus vif de l'étoile qui n'était pourtant que de 9e à 10e grandeur. »

(51) [page 118]. Les premières recherches dans lesquelles Arago ait fait usage des phénomènes de la polarisation, pour analyser la lumière des comètes, remontent au 3 juillet 1819, le soir même de l'apparition subite de la grande comète. Je me trouvais alors à l'Observatoire, et je pus me convaincre, comme Mathieu et comme feu Bouvard, que les deux images lumineuses, données par la lunette prismatique, étaient d'un éclat inégal quand l'instrument recevait la lumière de la comète. Pour la Chèvre, non loin de laquelle la comète se trouvait située ce soir-là, les deux images étaient d'égale intensité. A l'époque du retour de la comète de Halley, en 1835, l'appareil mo-

difié indiquait la présence de la lumière polarisée, par le contraste de deux images de couleurs complémentaires (rouge et verte, par exemple); c'était une application nouvelle de la *polarisation chromatique*, dont la découverte est due à Arago. *Annales de chimie*, t. XIII, p. 108. *Annuaire*, 1832, p. 216. « On doit conclure, dit Arago, de l'ensemble de ces observations, que la lumière de la comète n'était pas en totalité composée de rayons doués des propriétés de la lumière directe, propre ou assimilée : il s'y trouvait de la lumière réfléchie spéculairement et polarisée, c'est-à-dire de la lumière venant du soleil. On ne peut décider par cette méthode, d'une manière obsolue, que les comètes brillent seulement d'un éclat d'emprunt. En effet, en devenant lumineux par eux-mêmes, les corps ne perdent pas, pour cela, la faculté de réfléchir des lumières étrangères. »

(52) [page 119]. Arago, dans l'*Ann.* 1832, p. 217-220. Sir John Herschel, *Astronomie*, § 488.

(53) [page 120]. Encke, dans les *Nouv. astron.*, 1843, n° 489, p. 130-132.

(54) [page 121]. Laplace, *Exp. du Syst. du Monde*, p. 216 et 237.

(55) [page 121]. Littrow, *Astronomie descriptive*, 1835, p. 274, allem. Sur la comète à courte période récemment découverte par Faye, à l'observatoire de Paris, et dont l'excentricité est 0,551, la distance périhélie 1,690, et la distance aphélie 5,832, voy. les *Nouv. astron.* de Schumacher, 1844, n° 495. (Sur l'identité présumée de la comète de 1766 avec la troisième comète de 1819, voy. *Nouv. astron.*, 1833, n° 239; sur l'identité de la comète de 1743 et de la quatrième comète de 1819, voy. le même recueil, n° 237.)

(56) [page 123]. Laugier, dans les *Comptes rendus des séances de l'Acad.*, 1843, t. XVI, p. 1006.

(57) [page 126]. Fries, *Leçons d'Astronomie*, 1833, p. 262-

267, allem. On trouve dans Sénèque une preuve assez mal choisie de l'innocuité des comètes. *Nat. Quæst.*, VII, 17 et 21, le philosophe parle de la comète, « *quem nos Neronis principatu lætissimo vidimus et qui cometis detraxit infamiam.* »

(58) [page 129]. A Popayan (latitude boréale 2°26', hauteur au-dessus de la mer, 1793 m.). En 1788, un de mes amis, homme fort instruit, vit en plein jour un bolide si brillant que sa chambre tout entière en fut illuminée, malgré la lumière du soleil dont aucun nuage n'affaiblissait l'éclat. Au moment de l'apparition, l'observateur avait le dos tourné à la fenêtre, et lorsqu'il se retourna, une grande partie de la trajectoire parcourue par le bolide brillait encore d'une vive lumière. Au lieu de ce terme repoussant de *Sternschnuppe* (littéralement *mouchure d'étoiles*), j'aurais aimé à employer d'autres expressions d'un allemand tout aussi légitime, comme *Sternschuss* ou *Sternfall* (en suédois *stjernfall*, en anglais *star-shoot*, en italien *stella cadente*), si je ne m'étais fait une loi d'éviter scrupuleusement, dans tous mes écrits, les mots inusités, là où il s'agit de choses généralement connues, et bien déterminées dans le langage ordinaire. Le peuple s'imagine, dans sa physique grossière, que les lumières célestes ont besoin d'être mouchées comme des lumignons. Mais j'ai rencontré d'autres dénominations plus disgracieuses encore dans les bois voisins de l'Orénoque et sur les bords solitaires du Cassiquiare : les indigènes de la mission de Vasiva (*Rel. hist. du Voy. aux régions équinoxiales*, t. II, p. 513) nomment les étoiles filantes, *urine d'étoiles*, et la rosée qui se dépose en perles sur les belles feuilles de l'héliconia, ils l'appellent *salive d'étoiles*. Le mythe populaire des Lithuaniens, sur l'origine et la signification des étoiles filantes, indique plus de grâce et de noblesse dans cette faculté de l'esprit qui donne à tout une forme symbolique : « Lorsqu'un enfant vient au monde, Werpeja file pour lui le fil de la destinée, chacun de ces fils se termine par une étoile. A l'instant de la mort, le fil se rompt, l'étoile tombe, pâlit et

s'éteint. » Jacob Grimm, *Mythologie allemande*, 1843, p. 685, allem.

(59) [page 129]. D'après la relation de Denison Olmsted, professeur au collége de Yale, à New-Haven (Connecticut). Voy. les *Annales de physique* de Poggendorff, vol. XXX, p. 194. « Képler a, dit-on, banni de l'astronomie les bolides et les étoiles filantes. D'après lui, ces météores sont engendrés par les exhalaisons terrestres, et vont se perdre ensuite dans les hautes régions de l'éther. » Cependant il s'est expliqué sur ce sujet avec une grande réserve. « Stellæ cadentes, » dit-il, « sunt materia viscida inflammata. Earum aliquæ inter cadendum absumuntur, aliquæ vere in terram cadunt, pondere suo tractæ. Nec est dissimile vero quasdam conglobatas esse ex materia fœculenta, in ipsam auram æthereum immixta : exque ætheris regione, tractu rectilineo, per aerem .trajicere, ceu minutos cometas, occulta causa motus utrorumque. » Képler, *Epit. Astron. Copernicanæ*, t. I, p. 80.

(60) [page 129]. *Relation historique*, t. I, p. 80, 213 et 527. Si l'on distingue dans les étoiles filantes, comme dans les comètes, la tête, ou le noyau, et la queue, on peut juger, par la longueur et l'éclat de la queue ou de la traînée lumineuse, du degré de transparence de l'atmosphère et s'assurer de la supériorité des régions tropicales à cet égard. Là, l'impression produite par le spectacle des étoiles filantes est plus vive, sans que le phénomène ait besoin pour cela d'être plus fréquent : il s'y voit mieux, et dure plus longtemps. Au reste l'influence de l'atmosphère sur la visibilité de ces apparitions se fait sentir, même dans les zones tempérées, par les grandes différences que l'on remarque en des stations peu distantes. Ainsi Wartmann annonce que les nombres des météores que l'on a pu compter, pendant une apparition de novembre, en deux lieux voisins, à Genève et aux Planchettes, étaient dans le rapport de 1 à 17. (Wartmann, *Mém. sur les étoiles filantes*, p. 17). Brandes a fait une série d'observations nombreuses et

fort exactes sur les queues des étoiles filantes. Ce phénomène ne saurait s'expliquer par la persistance de l'impression produite sur la rétine, car il dure quelquefois une minute après que le noyau de l'étoile a disparu. Ordinairement la traînée lumineuse paraît immobile (*Annales* de Gilbert, vol. XIV, p. 251). Ces faits établissent une grande analogie entre les étoiles filantes et les bolides. L'amiral de Krusenstern a vu, dans son voyage autour du monde, un bolide laisser après lui une traînée lumineuse qui brilla pendant une heure entière, sans changer bien sensiblement de place (*Voyage*, part. I[re], p. 58). Sir Alexander Burnes décrit en termes animés la transparence de l'atmosphère de Bokhara (latitude 39° 43′; hauteur au-dessus de la mer, 390 m.) : « There is also a constant serenity in its atmosphere, and an admirable clearness in the sky. At night, the stars have uncommon lustre, and the milky way shines gloriously in the firmament. There is also a neverceasing display of the most brilliant meteors, which dart like rokets in the sky : ten or twelve of them are sometimes seen in an hour, assuming every colour : fiery, red, blue, pale and faint. It is a noble country for astronomical science, and great must have been the advantage enjoyed by the famed observatory of Samarkand. » Burnes, *Travels into Bokhara*, vol. II (1834), p. 138. Si Burnes estime que les étoiles filantes sont nombreuses, lorsqu'on peut en compter 10 ou 12 par heure, il ne serait pas juste d'en faire un sujet de reproche envers un voyageur isolé; il a fallu recourir, en Europe, à un système d'observations régulièrement suivi, avant de pouvoir affirmer, avec Quételet (*Corresp. mathém. et phys.*, nov. 1837, p. 447), qu'il paraît, en moyenne, 8 étoiles filantes par heure, dans le cercle embrassé par une seule personne; et même, un autre excellent observateur, Olbers, réduit ce nombre à 5 ou 6. (*Annuaire* de Schumacher, 1836, p. 325.)

(61) [page 131]. Sur les poussières *météoriques*, voy. Arago, dans l'*Annuaire pour* 1832, p. 254. Tout récemment j'ai

cherché, dans un autre ouvrage (*Asie centrale*, t. I, p. 408), à montrer comment le mythe scythique de l'*or sacré*, qui tomba du ciel en pleine incandescence et devint ensuite la propriété de la *Horde dorée* des Paralates (Herod., IV, 5-7), comment, dis-je ce mythe a pu prendre naissance dans le souvenir confus de la chute d'un aérolithe. Les anciens ont parlé aussi de masses d'argent qui tombèrent du ciel, sous l'empereur Sévère, et dont on s'efforça de revêtir des médailles de bronze (Dio Cassius, LXXV, 1259); cependant le fer métallique avait été reconnu déjà parmi les éléments des pierres météoriques (Plin., II, 56). Quant à cette expression qui revient si souvent : *lapidibus pluit*, on sait assez qu'elle ne se rapporte pas toujours à des chutes d'aérolithes. Ainsi, dans le liv. XXV, 7, ces mots désignent des *rapillis*, des fragments de pierre-ponce lancés par un volcan dont l'extinction n'est pas complète, le Mons Albanus, aujourd'hui Monte-Cavo; voy. Heyne, *Opuscula acad.*, t. III, p. 261, et ma *Relat. histor.*, t. I, p. 394. Le combat qu'Hercule soutint contre les Ligyens, en allant du Caucase au jardin des Hespérides, rentre dans un autre cercle d'idées. Ce mythe avait pour but d'assigner une origine aux galets de quartz qui se trouvent en abondance dans les *Champs Ligyens*, près de l'embouchure du Rhône. Aristote croit qu'ils ont été rejetés par une fente éruptive, pendant un tremblement de terre; Possidonius les attribue à l'action des vagues d'une ancienne mer intérieure. Dans un fragment du *Prométhée délivré* d'Eschyle, on trouve une description dont tous les détails s'appliqueraient parfaitement à une chute d'aérolithes : Jupiter *assemble des nuages* et fait tomber « une pluie de pierres arrondies qui jonchent le sol de la contrée. » Déjà Possidonius se permettait de railler le mythe géognostique des *galets* et des *blocs*. Au reste, la description que les anciens ont laissée des pierres des *Champs Ligyens* (aujourd'hui, la contrée se nomme *La Crau*) est de tout point conforme à la réalité. Voy. Guérin, *Mesures barométriques dans les Alpes, et Météorologie d'Avignon*, 1829, chap. XII, p. 115.

(62) [page 131]. La pesanteur spécifique des aérolithes varie entre 1,9 (Alais) et 4,3 (Tabor); leur densité est ordinairement trois fois plus grande que celle de l'eau. Pour les diamètres *réels* que j'ai assignés aux bolides, j'ai dû avoir recours aux mesures les plus dignes de confiance; malheureusement ces mesures sont en bien petit nombre. En voici plusieurs : le bolide de Weston (Connecticut, 14 décembre 1807), 162 m.; le bolide observé par Le Roi (10 juillet 1771), environ 325 m.; celui du 18 janvier 1783, estimé par Sir Charles Blagden à 845 m. Brandes (*Entretiens*, vol. I, p. 42, allem.) assigne un diamètre de 25 à 40 mètres aux étoiles filantes; il évalue la longueur de leurs queues ou de leurs traînées lumineuses à 2 ou 3 myriamètres. Mais il y a tout lieu de croire que les diamètres *apparents* des bolides et des étoiles filantes ont été exagérés, sous l'influence de certaines causes de nature optique. Leur volume ne peut en aucune façon entrer en comparaison avec le volume de Cérès, même en admettant « 70 milles anglais » pour le diamètre de cette petite planète. Voy. l'excellent ouvrage : *On the Connexion of the Physical Sciences*, 1835, p. 411. — Comme pièce justificative à l'appui d'une assertion de la page 132, sur le grand aérolithe qui est tombé dans le lit de la rivière de Narni, mais que l'on n'a pas retrouvé jusqu'à présent, je vais rapporter le passage, extrait par Pertz, du *Chronicon Benedicti monachi Sancti Andreæ, in Monte Soracte* (Bibliothèque Chigi, à Rome); ce document remonte au xe siècle, et on y retrouve bien le style barbare de cette époque : « Anno 921, temporibus domini Johannis decimi papæ, in anno pontificatus illius 7, visa sunt signa. Nam juxta urbem Romam lapides plurimi de cœlo cadere visi sunt. In civitate quæ vocatur Narnia, tam diri ac tetri, ut nihil aliud credatur, quam de infernalibus locis deducti essent. Nam ita ex illis lapidibus unus omnium maximus est, ut decidens in flumen Narnus, ad mensuram unius cubiti super aquas fluminis usque hodie videretur. Nam et ignitæ faculæ de cœlo plurimæ omnibus in hac civitate Romani populi visæ sunt, ita ut pene terra con-

tingeret. Aliæ cadentes, etc. » (Pertz, *Monum. Germ. hist. scriptores*, t. III, p. 715). Sur l'aérolithe d'Ægos-Potamos, dont la chronique des marbres de Paros place la chute dans la première année de la 78e olympiade (Bœckh, *Corp. Inscr. græc.*, t. II, p. 302, 320 et 340), cf. Aristot. *Meteor.*, I, 7 (Ideler, *Comm.*, t. I, p. 404-407); Stob., *Ecl. phys.*, I, 25, p. 508, Heeren; Plut. *Lys.*, c. 12; Diog. Laert., II, 10. (Voy. aussi plus bas les notes 69, 87, 88 et 89.) D'après une tradition mongolienne, un rocher noir, de 18 mètres de hauteur, serait tombé du ciel dans une plaine voisine des sources du fleuve Jaune, dans la Chine occidentale. (Abel Rémusat, *Journ. de Phys.*, 1819, mai, p. 264.)

(63) [page 133]. Biot, *Traité d'Astronomie physique* (3e éd.), 1841, t. I, p. 149, 177, 238 et 312. Poisson a expliqué, d'une manière tout à fait neuve, l'ignition spontanée des pierres météoriques, à une hauteur où la densité de l'atmosphère est presque nulle. « A une distance de la Terre où la densité de l'atmosphère est tout à fait insensible, il serait difficile d'attribuer, comme on le fait, l'incandescence des aérolithes à un frottement contre les molécules de l'air. Ne pourrait-on pas supposer que le fluide électrique, à l'état neutre, forme une sorte d'atmosphère qui s'étend beaucoup au delà de la masse d'air qui est soumise à l'attraction de la Terre, quoique physiquement impondérable, et qui suit, en conséquence, notre globe dans ses mouvements? Dans cette hypothèse, les corps dont il s'agit, en entrant dans cette atmosphère impondérable, décomposeraient le fluide neutre, par leur action inégale sur les deux électricités, et ce serait en s'électrisant qu'ils s'échaufferaient et deviendraient incandescents. » (Poisson, *Rech. sur la Probabilité des jugements*, 1837, P. VI.)

(64) [page 134]. *Philos. Transact.*, vol. XXIX, p. 161-163.

(65) [page 134]. La première édition de l'important écrit de Chladni : *sur l'origine des masses de fer trouvées par Pallas*

et par d'autres voyageurs, parut deux mois avant la pluie de pierres de Siène, et deux ans avant l'époque où Lichtemberg écrivait dans un recueil de Gœttingue, « que des pierres, provenant des espaces célestes, pénètrent dans notre atmosphère. » Voy. aussi la lettre d'Olbers à Benzenberg, en date du 18 novembre 1837, dans l'ouvrage de ce dernier : *Étoiles filantes*, p. 186.

(66) [page 135]. Encke, dans les *Ann.* de Poggendorff, vol. XXXIII (1834), p. 213. Arago, dans l'*Annuaire pour* 1836, p. 291. Deux lettres de moi à Benzenberg, du 19 mai et du 22 octobre 1837, sur la précession présumée des nœuds de l'orbite parcourue par le flux périodique des étoiles filantes (Benzenberg, *Étoiles fil.*, p. 207 et 209, allem.). Olbers lui-même a adopté plus tard cette idée d'un retard progressif dans l'apparition de novembre (*Nouv. astron.*, 1838, n° 372, p. 180). Je vais exposer ici les éléments qui me paraissent devoir servir à fixer le mouvement des nœuds, et j'ajouterai deux observations arabes à l'époque découverte par Boguslawski pour le XIVe siècle :

Au mois d'octobre 902, dans la nuit où mourut le calife Ibrahim-ben-Ahmed, il y eut une grande apparition d'étoiles filantes « semblable à une pluie de feu. » C'est pourquoi cette année fut nommée l'*année des étoiles*. (Conde, *Hist. de la domin. de los Arabes*, p. 346.)

Le 19 octobre 1202, « les étoiles furent en mouvement pendant toute la nuit. Elles tombaient comme des sauterelles. » (*Comptes rendus*, 1837, t. I, p. 294, et Fræhn, dans le *Bull. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, t. III, p. 308.)

Le 21 oct. (anc. st.) 1366 : *die sequente* post festum XI millia Virginum, ab hora matutina usque ad horam primam, visæ sunt quasi stellæ de cœlo cadere continuo, et in *tanta multitudine* quod nemo narrare *sufficit*. Cette notice remarquable, sur laquelle je reviens encore plus loin, dans le texte, a été découverte par M. de Boguslawski fils, dans la *Chronicon Ecclesiæ*

Pragensis, p. 389. Cette chronique se trouve encore dans la deuxième partie des *Scriptores rerum Bohemicarum*, par Pelzel et Dobrowsky, 1784. (*Nouv. astron.* de Schumacher, décembre 1839.)

Du 9 au 10 nov. 1787, de nombreuses étoiles filantes furent observées par Hemmer, dans le midi de l'Allemagne, particulièrement à Manheim. (Kæmtz, *Météorologie*, partie III, p. 237.)

Le 12 nov. 1799, après minuit, eut lieu la grande pluie d'étoiles filantes que nous avons décrite, Bonpland et moi, et qui a été observée sur une grande partie de la terre. (*Relat. hist.*, t. I, p. 519-527.)

Du 12 au 13 nov. 1822, Klœden vit, à Potsdam, un grand nombre d'étoiles filantes entremêlées de bolides. (*Ann.* de Gilbert, vol. LXXII, p. 219.)

Le 13 nov. 1831, vers quatre heures du matin, une grande pluie d'étoiles filantes a été vue par le capitaine Bérard, sur la côte d'Espagne, à la hauteur de Carthagène. (*Annuaire* de 1836, p. 297.)

Dans la nuit du 12 au 13 nov. 1833 : l'apparition mémorable si bien décrite par Denison Olmsted, dans l'Amérique du Nord.

Dans la nuit du 13 au 14 novembre 1834 : même phénomène, mais un peu moins marqué, dans l'Amérique du Nord. (*Annales* de Poggendorff, vol. XXXIV, p. 129.)

Le 13 nov. 1835, un bolide sporadique tombe près de Belley, département de l'Ain, et met le feu à une pile de bois. (*Annuaire* de 1836, p. 296.)

En 1838, le flux d'étoiles filantes se manifesta le plus nettement du 13 au 14 nov. (*Nouv. astron.*, 1838, n° 372.)

(67) [page 136]. On a trouvé, je le sais, que parmi soixante-deux étoiles filantes observées en Silésie (1823), sur l'invitation de Brandes, plusieurs se montrèrent à une hauteur de

34, de 45 et même de 74 myriamètres (Brandes, *Entretiens sur l'astronomie et la physique*, Ire livraison, p. 48); mais à cause de la petitesse de la parallaxe, Olbers tient pour douteuses toutes les déterminations de hauteur qui dépassent 22 myriamètres.

(68) [page 136]. La vitesse planétaire, c'est-à-dire la vitesse de translation des planètes, dans leurs orbites, est, pour Mercure, de 4,9; pour Vénus, de 3,6; pour la Terre, de 3,0 myriamètres par seconde.

(69) [page 136]. Selon Chladni, ce serait un physicien italien, Paolo Maria Terzago, qui aurait considéré, le premier, les aérolithes comme des pierres lancées par la Lune. Il a émis en effet cette idée, en 1660, à l'occasion de la mort d'un moine franciscain tué, à Milan, par la chute d'un aérolithe. « Labant Philosophorum mentes, » dit-il, dans son écrit (*Musæum Septalianum*, *Manfredi Septalæ*, *Patricii Mediolanensis*, *industrioso labore constructum*, Tortona, 1664, p. 44), « sub horum lapidum ponderibus; ni dicere velimus, lunam terram alteram, sive mundum esse, ex cujus montibus divisa frusta in inferiorem nostrum hunc orbem delabantur. » Olbers, qui ignorait ces hypothèses, avait été conduit, dès 1795, après la célèbre chute d'aérolithes de Sienne (16 juin 1794), à calculer la vitesse dont il faudrait qu'une masse lancée de la Lune fût animée pour arriver jusqu'à la Terre. Ce problème de balistique a occupé dix ou douze ans après les géomètres Laplace, Biot, Brandes et Poisson. L'opinion très-répandue à cette époque, et maintenant abandonnée, qu'il existe des volcans très-actifs dans la Lune, conduisait le public à confondre deux choses fort différentes, à savoir, la possibilité au point de vue mathématique, et la vraisemblance au point de vue physique. Olbers, Brandes et Chladni crurent trouver, « dans la vitesse relative de 3 à 6 myriamètres par seconde dont les bolides et les étoiles filantes sont animés, lors-

qu'ils pénètrent dans notre atmosphère,» un argument décisif contre l'origine sélénitique de ces météores. Pour que les pierres lancées de la Lune puissent atteindre la Terre, il faut, d'après Olbers, qu'elles aient possédé une vitesse initiale de 2527 m. par seconde (Laplace avait trouvé 2396 m.; Biot, 2524 m.; Poisson, 2314 m.). Laplace considère cette vitesse initiale comme étant seulement 5 ou 6 fois plus grande que celle d'un boulet de canon, au sortir de la pièce; mais Olbers a montré «que si les pierres météoriques étaient lancées de la Lune avec une vitesse initiale de 2500 m. à 2600 m., elles ne parviendraient à la surface de la Terre qu'avec une vitesse de 1,14 myriamètre par seconde. Or, comme la vitesse observée est en réalité de 3,70 myriamètres, terme moyen, la vitesse de projection initiale, à la surface de la Lune, devrait être d'environ 35700 m., par conséquent 15 fois plus grande que Laplace ne l'a supposé.» (Olbers, dans l'*Annuaire* de Schum., 1837, p. 52-58, et dans le *Nouveau Dictionnaire de Physique* de Gehler, vol. VI, 3e part., p. 21-29-21-36, allem.) Toutefois, il faut convenir que si l'hypothèse des volcans lunaires était encore admissible de nos jours, l'absence d'atmosphère donnerait à ces volcans un avantage marqué sur les volcans terrestres, par rapport à la force de projection; mais, à cet égard, nous manquons de données certaines même pour nos volcans, et tout porte à croire que leur force de projection a été singulièrement exagérée. Le docteur Peters, qui a observé et mesuré avec une scrupuleuse exactitude tous les phénomènes de l'Etna, a trouvé que la plus grande vitesse des pierres lancées par le cratère était seulement de 406 m. par seconde. D'autres observations faites au Pic de Ténériffe, en 1798, ont donné 975 m. Si Laplace, en parlant des pierres météoriques, à la fin de l'*Expos. du Syst. du Monde* (éd. de 1824, p. 399) dit, avec une sage réserve, que «selon toutes les vraisemblances, elles viennent des profondeurs de l'espace céleste,» on le voit cependant, dans d'autres passages (chap. VI, p. 233), revenir à l'hypothèse sélénitique avec une certaine prédilection (sans doute l'énorme vitesse pla-

nétaire des pierres météoriques ne lui était pas connue) et supposer que les pierres lancées par la Lune « deviennent des satellites de la Terre, décrivant autour d'elle une orbite plus ou moins allongée, de sorte qu'ils n'atteignent l'atmosphère de la Terre qu'après plusieurs et même un très-grand nombre de révolutions. » De même qu'un Italien de Tortona eut un jour l'idée de faire venir les aérolithes de la Lune, de même quelques physiciens grecs imaginèrent de les faire venir du Soleil. Diogène Laërce (II, 9) rapporte cette opinion en parlant de la masse tombée près d'Ægos-Potamos (voy. la note 62). Pline, qui a tout enregistré, rappelle aussi cette idée singulière (II, 58): « Celebrant Græci Anaxagoram Clazomenium Olympiadis septuagesimæ octavæ secundo anno prædixisse cœlestium litterarum scientia, quibus diebus saxum casurum esse e Sole, idque factum interdiu Thraciæ parte ad Ægos flumen. — Quod si quis prædictum credat, simul fateatur necesse est majoris miraculi divinitatem Anaxagoræ fuisse, solvique rerum naturæ intellectum, et confundi omnia, si aut ipse Sol lapis esse aut unquam lapidem in eo fuisse credatur; decidere tamen crebro non erit dubium. » On attribuait également à Anaxagore d'avoir prophétisé la chute d'une pierre de grandeur moyenne, conservée au gymnase d'Abydos. Des aérolithes tombant en plein jour, lorsque la Lune n'était pas visible, ont probablement donné lieu à l'idée des pierres du Soleil. C'était aussi un des dogmes physiques d'Anaxagore, dogmes qui attirèrent sur lui les persécutions religieuses, que le Soleil était « une masse incandescente en fusion (μύδρος διάπυρος). » Dans le Phaëton d'Euripide, le Soleil est nommé, d'après les idées du philosophe de Clazomène, une « masse d'or », c'est-à-dire, une *matière* couleur de feu et brillant d'un vif éclat. Cf. Walckenaer, *Diatribe in Eurip. perd. dram. Reliquias*, 1767, p. 30. Diog. Laert. II, 10. — Nous trouvons donc quatre hypothèses différentes chez les physiciens grecs : les uns attribuent ces météores aux exhalaisons terrestres; les autres, à des pierres arrachées et enlevées par les ouragans. (Arist, *Meteor.*, lib. I, cap. IV, 2-3 et

cap. VII, 9). Ces deux premières opinions assignent une origine terrestre aux étoiles filantes et aux bolides ; la troisième hypothèse place cette origine dans le Soleil ; la quatrième, enfin, la place dans les espaces célestes, et explique le phénomène par l'apparition d'astres qui seraient restés longtemps invisibles, à cause de leur éloignement. Sur cette dernière opinion de Diogène d'Apollonie, opinion qui coïncide si complétement avec nos vues actuelles, voyez le texte, page 139 et la note (88). Je tiens de mon maître de langue persane, M. Andrea de Nerciat (savant orientaliste, actuellement à Smyrne), qu'en Syrie, on attache beaucoup d'importance, d'après une ancienne croyance populaire, aux pierres qui tombent du ciel pendant le clair de lune. Les anciens se préoccupaient, au contraire, de la chute des aérolithes pendant les éclipses de lune ; voy. Plin. XXXVII, 10, p. 164. Solinus, c. 37, Salm. Exerc., p. 531, et les passages rassemblés par Ukert dans la *Géog. des Grecs et des Romains*, 2e part., I, p. 131, note 14, all. Voy. sur l'hypothèse invraisemblable de Fusinieri, qui attribuait la formation des pierres météoriques à la condensation subite de vapeurs métalliques, dont les couches supérieures de l'atmosphère seraient ordinairement chargées, comme sur la pénétration mutuelle et le mélange des gaz d'espèces différentes, ma *Relat. hist.*, t. I, p. 525.

(70) [page 137]. Bessel, dans la *Nouv. astr.* de Schum., 1839, nos 380 et 381, p. 222 et 346. Le Mémoire est terminé par une comparaison des longitudes du Soleil avec les époques de l'apparition du mois de novembre, à partir de 1799, date de la première observation faite à Cumana.

(71) [page 138]. Le docteur Thomas Forster annonce (*The pocket Encyclop. of Natural Phænomena*, 1827, p. 17), que l'on conserve dans le collége de Christ-Church, à Cambridge, un manuscrit intitulé : *Ephemerides rerum naturalium*, dont l'auteur paraît être un moine du siècle précédent. A côté de

chaque jour de l'année, ce manuscrit indique le phénomène correspondant, comme la première floraison de certaines plantes, l'arrivée des oiseaux, etc... Le 10 août y est désigné sous le nom de *meteorodes*. Cette indication, jointe à la tradition relative aux larmes de feu de Saint-Laurent, déterminèrent M. Forster à suivre assidûment l'apparition du mois d'août. (Quételet, *Corresp. mathém.*, série III, t. I, 1837, p. 433.)

(72) [page 138]. Humb., *Rel. hist.*, t. I, p. 519-527. Ellicot, dans les *Transact. of the American Soc.*, 1804, vol. VI, p. 29. Arago dit, au sujet de l'apparition de novembre : « Ainsi se confirme de plus en plus l'existence d'une zone composée de millions de petits corps dont les orbites rencontrent le plan de l'écliptique, vers le point que la Terre va occuper tous les ans, du 11 au 13 novembre. C'est un nouveau monde planétaire qui commence à se révéler à nous. » (*Annuaire* de 1836, p. 296.)

(73) [page 139]. Cf. Musschenbroek, *Introd. ad Phil. Nat.*, t. II, p. 1061. Howard, *Climate of London*, vol. II, p. 23, observations de l'année 1806, par conséquent antérieures de sept années aux premières observations de Brandes (Benzenberg, *Etoiles filantes*, p. 240-244, allem.); les observations d'août, faites par Thomas Forster, dans Quételet, ouv. cit., p. 438-453; celles d'Adolphe Erman, de Boguslawski et de Kreil, dans l'*Annuaire* de Schum., 1838, p. 317-330. Sur la position du point de divergence des météores dans la constellation de Persée, le 10 août 1839, voy. les excellentes mesures de Bessel et d'Erman (Schum., *Nouv. astron.*, n°s 385 et 428). Mais il paraît que le mouvement dans l'orbite n'a point été rétrograde le 10 août 1837. Cf. Arago, dans les *Comptes rendus*, 1837, t. II, p. 183.

(74) [page 139]. Le 25 avril 1095, « une infinité de personnes virent tomber les étoiles du ciel, aussi serrées que la grêle, » (*ut grando, nisi lucerent, pro densitate putaretur*;

Baldr., p. 88); on crut même, au concile de Clermont, qu'un tel événement devait être le présage de grandes révolutions dans la chrétienté; Wilken, *Hist. des Croisades*, vol. I, p. 75. Le 22 avril 1800, on vit une grande pluie d'étoiles filantes dans la Virginie et au Massachusetts; c'était « comme la combustion d'une fusée qui aurait duré deux heures. » Arago a signalé le premier la périodicité de cette « traînée d'astéroïdes. » (*Annuaire* de 1836, p. 297.) Les pluies d'aérolithes, au commencement de décembre, sont aussi fort remarquables. On peut trouver des indices de leur périodicité dans les anciennes observations de Brandes (il compta deux mille étoiles filantes pendant la nuit du 6 au 7 déc. 1798), et peut-être aussi dans l'énorme pluie d'aérolithes qui tomba au Brésil, le 11 décembre 1836, près du village de Macao, sur le Rio Assu (Brandes, *Entretiens sur la phys.*, 1845, 1re livraison, p. 65, et *Comptes rendus*, t. V, p. 211). Capocci a découvert douze pluies d'aérolithes entre le 27 et le 29 nov. (de 1809 à 1839), et d'autres phénomènes du même genre, correspondants au 13 nov., au 10 août et au 17 juillet. (*Comptes rendus*, t. XI, p. 257.) Chose remarquable, aucun flux *périodique* d'étoiles filantes ou d'aérolithes ne s'est présenté, jusqu'à présent, dans les parties de l'orbite terrestre qui répondent aux mois de janvier, de février et peut-être de mars. Cependant, j'ai observé dans la mer du Sud, le 15 mars 1803, une grande quantité d'étoiles filantes, et on a vu à Quito une pluie de météores du même genre, peu de temps avant l'épouvantable tremblement de terre de Riobamba (4 février 1797). En résumé, les époques suivantes paraissent devoir fixer l'attention des observateurs :

22-25 avril;
17 juillet (17-26 juillet?) (Quét., *Corr.*, 1837, p. 435);
10 août;
12-14 novembre;
27-29 novembre;
6-12 décembre.

La multiplicité de ces flux périodiques ne doit pas être un

sujet de difficulté sérieuse, et l'on peut renvoyer, à cet égard, aux comètes dont les espaces célestes sont remplis, sans que la différence essentielle qui existe entre une comète isolée et un anneau d'astéroïdes, puisse rendre l'assimilation vicieuse.

(75) [page 140]. Ferd. de Wrangel, *Voyage sur les côtes septentrionales de la Sibérie, de* 1820 *à* 1824, IIe part., p. 259. — Sur le retour de la grande apparition du mois de novembre, par périodes de 34 ans, voy. Olbers, dans l'*Annuaire* de Schumacher, 1837, p. 280. — J'ai entendu dire, à Cumana, qu'on avait vu, peu de temps avant le tremblement de terre de 1766, un feu d'artifice céleste pareil à celui du 11 au 12 nov. 1799; l'intervalle serait de 33 ans. Toutefois, le tremblement de terre n'a pas eu lieu au commencement de novembre, mais bien le 21 octobre 1766. Une certaine nuit, le volcan de Cayambe parut, pendant une heure entière, comme enveloppé d'une pluie d'étoiles filantes, et les habitants de Quito, effrayés de cette apparition, firent des processions afin d'apaiser la colère du ciel; peut-être les voyageurs qui vont à Quito pourraient-ils nous apprendre la date précise de ce phénomène. (*Rel. hist.*, t. I, chap. IV, p. 307; chap. X, p. 520 et 527.)

(76) [page 142]. Extrait d'une lettre qui me fut adressée, en date du 24 janvier 1838. L'énorme essaim d'étoiles filantes du mois de nov. 1799 ne fut guère visible qu'en Amérique; mais il y fut observé depuis Neu-Herrnhut, dans le Groenland, jusqu'à l'équateur. L'essaim de 1831 et celui de 1832 ont été vus en Europe seulement; ceux de 1833 et de 1834 ne furent aperçus qu'aux États-Unis d'Amérique.

(77) [page 143]. Lettre de M. Édouard Biot à M. Quételet, *sur les anciennes apparitions d'étoiles filantes en Chine*, dans les *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, 1843, t. X, n° 7, p. 8. — Sur la notice extraite de la *Chronicon Ecclesiæ Pragensis*, voy. Boguslawski fils, dans les *Annales* de Poggend., vol. XLVIII, p. 612.

(78) [page 143]. « Il paraît qu'un nombre qui semble inépuisable de corps trop petits pour être observés, se meuvent dans le ciel, soit autour du Soleil, soit autour des planètes, soit peut-être même autour des satellites. On suppose que, quand ces corps sont rencontrés par notre atmosphère, la différence entre leur vitesse et celle de notre planète est assez grande pour que le frottement qu'ils éprouvent contre l'air les échauffe au point de les rendre incandescents, et quelquefois de les faire éclater. Si le groupe des étoiles filantes forme un anneau continu autour du Soleil, sa vitesse de circulation pourra être très-différente de celle de la Terre; et ses déplacements dans le ciel, par suite des actions planétaires, pourront encore rendre possible ou impossible, à différentes époques, le phénomène de la rencontre dans le plan de l'écliptique. » Poisson, *Recherches sur la probabilité des jugements*, p. 306-307.

(79) [page 144]. Humboldt, *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne* (2e édit.), t. III, p. 310.

(80) [page 144]. Déjà Pline avait remarqué la couleur particulière à la croûte des aérolithes « *colore adusto* » (II, 56 et 58); l'expression « *lateribus pluisse* » se rapporte également à l'aspect des aérolithes dont la surface indique l'action du feu.

(81) [page 145]. Humboldt, *Rel. hist.*, t. II, ch. xx, p. 299-302.

(82) [page 146]. Gustave Rose, *Voyage dans l'Oural*, vol. II, p. 202, allem.

(83) [page 146]. Même auteur, dans les *Annales* de Poggend., 1825, vol. IV, p. 173-192. Rammelsberg, *Prem. suppl. au Dict. de Chimie et de Minéral.*, 1843, p. 102, allem.

« C'est un fait bien remarquable et trop longtemps laissé dans l'oubli, a dit Olbers, que jamais *aérolithe fossile* n'ait été rencontré parmi les coquilles fossiles des terrains secondaires et tertiaires. Faut-il en conclure que, s'il tombe vraisembla-

blement, d'après Schreibers, sept cents aérolithes par an sur la surface actuelle du globe, il n'en tombait jamais avant l'époque où cette surface a été formée? » (Olbers, *Annuaire* de Schum., 1838, p. 329.) Plusieurs masses de fer natif nickelifère, d'une nature problématique, ont été trouvées, à 10 m. sous terre, dans le nord de l'Asie (lavages d'or de Petropawlowsk), et tout récemment encore dans les Carpathes occidentales (mines de Magura, près de Szlanicz). Cf. Erman, *Arch. des conn. scientif. en Russie*, vol. I, p. 315; et Haidinger, *Rapport sur les mines de Szlanicz en Hongrie.*

(84) [p. 146]. Berzelius, *Rapp. ann.*, vol. XV, p. 217 et 231. Rammelsberg, *Dict.*, 2e part., p. 25-28, allem.

(85) [p. 147]. « Sir Isaac said, he took all the planets to be composed of the same matter with this earth, viz. earth, water and stones, but variously concocted. » Turner, *Collections for the hist. of Grantham, cont. authentic Memoirs of Sir Isaac Newton*, p. 172.

(86) [p. 149]. Adolphe Erman, dans les *Ann.* de Poggend., 1839, vol. XLVIII, p. 582-601.

Quelques années auparavant, Biot doutait que le courant d'astéroïdes de novembre dût reparaître vers le commencement de mai (*Comptes rendus*, 1836, t. II, p. 670). Mædler a cherché, par quatre-vingt-six années d'observations météorologiques faites à Berlin, ce qu'il faut penser de la croyance populaire aux trois fameux jours froids du mois de mai (*Trav. de l'Union pour l'avancement de l'horticulture*, 1834, p. 377), et il a trouvé qu'effectivement, le 11, le 12 et le 13 mai, la température rétrograde de 1°,22, juste à l'époque de l'année où le mouvement ascensionnel devrait être le plus marqué. Il serait à souhaiter que ce curieux phénomène, où l'on a vu l'effet de la fonte des glaces dans le N. O. de l'Europe, pût être étudié simultanément sur des points très-éloignés, en Amérique, par exemple, et dans l'hémisphère austral. Cf.

le *Bull. de l'Acad. imp. de Saint-Pétersbourg*, 1843, t. I, n° 4.

(87) [p. 149]. Plut., *Vitæ par. in Lysandro*, cap. 22. D'après la narration de Damachus (Daïmachos), on aurait vu, pendant soixante-dix jours consécutifs, une nuée enflammée lancer des étincelles semblables à des étoiles filantes, puis s'abaisser et finir par lancer la pierre d'Ægos-Potamos, « laquelle ne formait qu'une portion insignifiante de la nue. » Cette narration n'est rien moins que vraisemblable, car il en résulterait que le bolide a dû se mouvoir, pendant soixante-dix jours, dans le même sens et avec la même vitesse que la Terre, circonstance dont le bolide du 19 juillet 1686, décrit par Halley (*Transact.*, vol. XXIX, p. 163), n'a offert la réalisation que pendant un petit nombre de minutes. Au reste, ce Daïmachos, l'écrivain περὶ εὐσεβείας, pourrait bien être le Daïmachos de Platée, que Séleucus envoya dans les Indes au fils d'Androcottus, et que Strabon (p. 70, Casaub.) présente comme un « grand diseur de fables; » un autre passage de Plutarque (*Compar. Polonis, C. Pop.*, cap. 4) le donnerait presque à penser. Quoi qu'il en soit, il s'agit seulement ici de la narration très-tardive d'un auteur qui écrivait en Thrace, un siècle et demi après la chute du célèbre aérolithe, et dont Plutarque suspecte également la véracité.

(88) [p. 150]. Stob., ed. Heeren, I, 25, p. 508. Plut., *De plac. Philos.*, II, 13.

(89) [p. 150]. Le passage remarquable de Plutarque (*De plac. Philos.*, II, 13) est ainsi conçu : « Anaxagoras enseigne que l'éther ambiant est de nature ignée; par la force de son mouvement gyratoire, il arrache des blocs de pierre, les rend incandescents et les transforme en étoiles. » Il paraît que le philosophe de Clazomène expliquait aussi, par un effet analogue du mouvement général de rotation, la chute du lion de Némée, qu'une ancienne tradition faisait tomber *de la*

Lune sur le Péloponnèse (Elien, XII, 7; Plut., *De facie in orbe lunæ*, c. 24; *Schol. ex Cod. Paris. in Apoll. Argon.*, lib. I, p. 498 ; ed. Schæf., t. II, p. 40; Meineke, *Annal. Alex.*, 1843, p. 85). Nous avions tout à l'heure des *pierres de la lune*, voici maintenant un *animal tombé de la lune!* D'après l'ingénieuse remarque de Bœckh, cet ancien mythe du lion lunaire de Némée aurait une origine astronomique, et se trouverait en rapport symbolique, dans la chronologie, avec le cycle d'intercalation de l'année lunaire, avec le culte de la lune à Némée, et les jeux dont il était accompagné.

(90) [p. 152]. Je transcris ici un mémorable passage de Képler sur les radiations calorifiques des étoiles; c'est une de ces inspirations que l'on rencontre à chaque pas dans les écrits de ce grand génie : « Lucis proprium est calor : sydera omnia calefaciunt. De syderum luce claritatis ratio testatur, calorem universorum in minori esse proportione ad calorem unius solis, quam ut ab homine, cujus est certa caloris mensura, uterque simul percipi et judicari possit. De cincindularum lucula tenuissima negare non potes, quin cum calore sit. Vivunt enim et moventur, hoc autem non sine calefactione perficitur. Sed neque putrescentium lignorum lux suo calore destituitur; nam ipsa putredo quidem lentus ignis est. Inest et stirpibus suus calor. » *Paralipomena in Vitell. Astron., pars optica*, 1604, Prop. XXXII, p. 25). Cf. Képler, *Epit. Astron. Copernicanæ*, 1618, t. I, lib. I, p. 35.

(91) [p. 156]. « There is another thing, which I recommend to the observation of mathematical men : which is, that in February, and for a little before, and a little after that month (as I have observed several years together) about six in the evening, when the Twilight hath almost deserted the horizon, you shall see a plainly discernable way of the Twilight striking up toward the Pleiades, and seeming almost to touch them. It is so observed any clear night, but it is best *illac*

nocte. There is no such way to be observed at any other time of the year (that I can perceive), nor any other way at that time to be perceived darting up elsewhere. And I believe it hath been and will be constantly visible at that time of the year. But what the cause of it in nature should be, I cannot yet imagine, but leave it to further inquiry. » Childrey, *Britannia Baconica*, 1661, p. 183. Telle est la première et la plus simple description du phénomène. (Cassini, *Découverte de la lumière céleste qui paraît dans le zodiaque*, dans les *Mém. de l'Acad.*, t. VIII, 1730, p. 276. Mairan, *Traité phys. de l'aurore boréale*, 1754, p. 16). Le remarquable ouvrage de Childrey, dont nous venons d'extraire ce passage, contient encore (p. 91) des détails très-bien raisonnés sur les époques du maxima et du minima dans la distribution annuelle de la chaleur et dans la marche diurne de la température, et quelques aperçus sur le retard qui se manifeste pour la production de l'effet maximum ou minimum, dans tous les phénomènes météorologiques. Par malheur, le chapelain de lord Henry Somerset enseigne en même temps, dans sa Philosophie baconienne, que la terre est allongée vers les pôles (c'est là l'idée de Bernardin de Saint-Pierre). A l'origine, dit-il, la terre était parfaitement sphérique; mais l'augmentation continuelle des couches de glace vers les deux pôles a modifié cette figure; et comme la glace est formée d'eau, il en résulte que partout la masse des eaux diminue.

(92) [p. 156]. Dominique Cassini (*Mém. de l'Acad.*, t. VIII, 1730, p. 188), et Mairan (*Aurore boréale*, p. 16) ont cru retrouver la lumière zodiacale dans le phénomène qui a été vu en Perse, en 1668. Delambre (*Hist. de l'Astron. moderne*, t. II, p. 742) attribue la découverte de cette lumière au célèbre voyageur Chardin; mais Chardin lui-même présente ce *nyazouk* (nyzek, petite lance), dans le *Couronnement de Soliman* et dans d'autres endroits de la narration de son voyage (éd. de Langlès, t. IV, p. 326; t. X, p. 97), comme « la grande et

fameuse comète qui parut presque par toute la terre, en 1668, et dont la tête était cachée dans l'occident, de sorte qu'on ne pouvait en rien apercevoir sur l'horizon d'Ispahan. » (*Atlas du voy.* de Chardin, table IV, après les observations faites à Schiraz). La tête de cette comète a été vue au Brésil et dans les Indes (Pingré, *Cométographie*, t. II, p. 22). Sur l'identité présumée de la dernière grande comète de 1843, avec celle que Cassini avait prise pour la lumière zodiacale, v. les *Nouv. astron.* de Schum., 1843, n° 476, 1480. En persan, les mots *nîzehi*, *âteschîn* (dards ou lances de feu) s'appliquent aussi aux rayons du soleil, à son lever ou à son coucher; de même *nayâzik* est traduit, dans le lexique arabe de Freytag, par *stellæ cadentes.* Au reste, ces dénominations singulières appliquées aux comètes par comparaison avec les lances et les épées, se retrouvent dans toutes les langues, surtout pendant le moyen âge. Il y a plus, la grande comète qui parut en 1500, depuis le mois d'avril jusqu'au mois de juin, est toujours désignée, par les écrivains italiens de cette époque, sous le nom de *il signor Astone* (v. mon *Examen critique de l'histoire de la géographie*, t. V, p. 80). On a souvent affirmé que Descartes (Cassini, p. 230, Mairan, p. 16) et même que Kléper (Delambre, t. I, p. 601) avaient connu la lumière zodiacale; mais cette opinion me paraît inadmissible. Descartes (*Principes*, III, art. 136, 137) explique d'une manière assez obscure la formation des queues des comètes, « par des rayons obliques qui, tombant sur diverses parties des orbes planétaires, viennent des parties latérales à notre œil par une réfraction extraordinaire » ; il dit aussi que les comètes, qui se voient dans le crépuscule du soir ou dans celui du matin, peuvent nous paraître « comme une longue poutre, » lorsque le soleil se trouve entre la comète et la terre. Ces passages ne se rapportent pas plus à la lumière zodiacale, que celui ou Képler parle d'une atmosphère solaire (limbus circa solem, coma lucida); elle empêche, dit-il, que l'obscurité soit complète pendant les éclipses totales de soleil. Il n'est pas exact de dire, avec Cassini (p. 231,

art. xxxi), et avec Mairan (p. 15), que les mots « trabes quas δοκοὺς vocant » (Plin. II, 26 et 27) s'appliquent à la lumière zodiacale, qui monte sur l'horizon en forme de langue. Partout, chez les anciens, le mot *trabes* est appliqué aux bolides (*ardores et faces*) et à d'autres météores ignés, ou bien aux comètes à longues chevelures. (Sur les mots : δοκὸς, δοκίας, δοκίτης, v. Schæfer, *Schol. Par. ad Apoll. Rhod.*, 1813, t. II, p. 206; Pseudo-Aristot., *de Mundo*, 2, 9; *Comment. Alex.*, *Joh. Philop. et Olymp.*, *in Aristot. Meteor.*, lib. I, cap. vii, 3, p. 195, Ideler; Seneca, *Nat. Quæst.*, t. I.

(93) [page 156]. Humboldt, *Monuments des peuples indigènes de l'Amérique*, t. II, p. 301. Ce manuscrit, fort rare, provient de la bibliothèque de Letellier, archevêque de Reims; il contient de nombreux passages extraits d'un rituel aztèque, d'un calendrier astrologique et d'annales historiques qui s'étendent de 1197 à 1549. Ces annales rapportent à la fois les phénomènes naturels, la date des tremblements de terre, l'apparition des comètes, par exemple de celles de 1490 et de 1529, et plusieurs éclipses de soleil fort importantes pour la chronologie mexicaine. Dans le manuscrit de Camargo, *Historia de Tlascala*, la lumière qui montait de l'horizon occidental presque jusqu'au zénith, est nommée « étincelante et comme parsemée d'étoiles très-serrées. » Cette description d'un phénomène qui dura quarante jours ne peut s'appliquer en aucune manière aux éruptions du Popocatepetl, volcan situé à fort peu de distance dans le sud-est. (Prescott, *Hist. of the Conquest of Mexico*, vol. I, p. 284). Des commentateurs plus récents ont confondu cette apparition, dans laquelle Montézuma voyait le présage de quelque grand malheur, avec la « estrella que humeava » (proprement) : qui *scintillait*; en mexicain, *choloa*, sautiller et scintiller). Quant à la connexité de cette *vapeur* avec l'étoile *Citlal Choloha* (Vénus), et avec le *Mont de l'Étoile* (Citlaltepetl, ou le volcan d'Orizaba), voy. mon ouvrage sur les *Monuments*, t. II, p. 303.

(94) [page 157]. Laplace, *Exp. du syst. du Monde*, p. 270; *Mécanique céleste*, t. II, p. 169 et 171. Schubert, *Astron.*, vol. III, § 206.

(95) [page 157]. Arago, *Annuaire* de 1842, p. 408. Cf. les considérations développées, par sir John Herschel, sur la faiblesse du volume et de l'éclat des nébuleuses planétaires, dans l'ouvrage de Mary Sommerville, *Connexion of the Phys. Sciences*, 1835, p. 108. L'idée que le soleil est une *étoile nébuleuse*, dont l'atmosphère donnerait lieu au phénomène de la lumière zodiacale, n'a pas été émise par Dominique Cassini, mais bien par Mairan, en 1731 (*Traité de l'aurore bor.*, p. 47 et 263. Arago, dans l'*Annuaire* de 1842, p. 412). Cette idée n'est qu'une reproduction des vues de Képler.

(96) [page 158]. Afin d'expliquer la forme de la lumière zodiacale, Dominique Cassini avait eu recours, comme le firent plus tard Laplace, Schubert et Poisson, à l'hypothèse d'un anneau isolé. Il dit en effet : « Si les orbites de Mercure et de Vénus étaient visibles (matériellement, dans toute l'étendue de leur surface), nous les verrions habituellement de la même figure et dans la même disposition à l'égard du soleil, et aux mêmes temps de l'année que la lumière zodiacale. » (*Mém. de l'Acad.*, t. VIII, 1730, p. 218, et Biot, dans les *Comptes rendus*, 1836, t. III, p. 666.) Cassini pensait que l'anneau nébuleux de la lumière zodiacale était formé d'un nombre infini de très-petits corps planétaires, tournant autour du soleil; il n'était même pas fort éloigné de croire que la chute des bolides se rattachait au passage de la Terre à travers cet anneau nébuleux. Olmsted et surtout Biot (ouv. cité, p. 673) ont cherché à y rattacher aussi la pluie d'étoiles filantes du mois de novembre, mais Olbers a élevé des doutes à ce sujet (*Annuaire* de Schum., 1837, p. 281). Houzeau, dans les *Nouv. astron.* de Schum., 1843, n° 492, p. 190, examine si le plan de la lumière zodiacale coïncide parfaitement avec le plan de l'équateur solaire.

(97) [page 158]. *Astron.* de sir John Herschel, § 487.

(98) [page 158]. Arago, dans l'*Annuaire* de 1842, p. 246. Plusieurs faits semblent indiquer que lorsqu'une masse est réduite mécaniquement à l'état de division extrême, la tension électrique peut croître assez pour développer de la lumière et de la chaleur. Les tentatives que l'on a faites avec les plus grands miroirs concaves n'ont fourni, jusqu'à présent, aucune preuve décisive de l'existence de la chaleur rayonnante dans la lumière zodiacale (Lettre de M. Matthiessen à M. Arago, dans les *Comptes rendus*, t. XVI, 1843, avril, p. 687.)

(99) [page 159]. « Ce que vous me dites sur les variations de la lumière zodiacale entre les tropiques, et sur les causes de ces variations, excite d'autant plus vivement mon intérêt, que j'accorde moi-même depuis longtemps une attention toute particulière à ce phénomène, chaque fois qu'il se présente, au printemps, dans notre zone septentrionale. J'ai toujours pensé comme vous que la lumière zodiacale devait être animée d'un mouvement de rotation; mais, contrairement à l'opinion de Poisson dont vous me faites part, j'admets que cette lumière s'étend jusqu'au Soleil, en croissant rapidement en intensité, et que sa partie la plus brillante forme la couronne lumineuse dont le Soleil paraît être entouré pendant les éclipses totales. D'une année à l'autre, j'ai remarqué des variations considérables dans cette lumière : souvent elle est, plusieurs années de suite, très-brillante et très-étendue; souvent aussi elle est à peine perceptible pendant d'autres années. Je crois avoir trouvé la première indication de la lumière zodiacale, dans une lettre de Rothmann à Tycho, où Rothmann dit avoir observé que le crépuscule du soir finissait, pendant le printemps, lorsque le Soleil était descendu à 24° au-dessous de l'horizon. Rothmann a certainement pris la disparition successive de la lumière zodiacale dans les vapeurs du couchant, pour la fin réelle du phénomène crépusculaire. Je n'ai jamais vu de mou-

vement d'effervescence, sans doute à cause de la faiblesse de la lumière zodiacale dans nos contrées; mais assurément, vous avez raison d'attribuer, aux changements qui surviennent dans notre atmosphère, surtout dans les régions élevées, les variations rapides d'éclat que les objets célestes vous ont présentées sous les tropiques. L'effet dont vous parlez se manifeste de la manière la plus frappante dans les queues des comètes. On voit souvent, surtout quand le ciel est très-pur, des ondulations partir de la tête comme du point le plus bas, et parcourir la queue entière en une ou deux secondes, de telle sorte que la queue paraît s'allonger rapidement de plusieurs degrés, et se raccourcir aussitôt après de la même manière. Ces ondulations dont autrefois Robert Hooke, et récemment encore Schrœter et Chladni se sont occupés, ne se produisent pas dans le corps même de la comète : elles résultent de simples accidents atmosphériques. Cela devient évident, si l'on songe que les diverses parties d'une comète longue de plusieurs millions de lieues se trouvent nécessairement situées à des distances très-inégales de la Terre, et que leur lumière emploie, pour venir jusqu'à nous, des intervalles de temps qui peuvent différer de plusieurs minutes. Quant à ces variations de la lumière zodiacale que vous avez vues, sur les bords de l'Orénoque, se prolonger pendant des minutes entières, je ne saurais décider s'il faut les attribuer à des coruscations réelles, ou bien à un jeu de l'atmosphère. Il m'est également impossible d'expliquer la clarté singulière de certaines nuits, ainsi que l'étendue et l'éclat anormal des crépuscules de 1831, crépuscules dont la partie la plus brillante ne correspondait pas, selon quelques observateurs, au lieu que le Soleil devait occuper au-dessous de l'horizon. » (Extrait d'une lettre que le docteur Olbers m'a écrite de Brême, le 26 mars 1833.)

(100) [page 160]. Biot, *Traité d'Astron. physique* (3e éd.), 1841, t. I, p. 171, 238 et 312.

(1) [page 162]. Bessel, dans l'*Annuaire* de Schum. pour

1839, p. 51; cette vitesse va peut-être à 742000 myriamètres par jour; la vitesse *relative* est au moins de 618000 myriamètres : c'est plus du double de la vitesse avec laquelle la Terre accomplit ses révolutions autour du Soleil.

(2) [page 163]. Sur le mouvement du système solaire d'après Bradley, Tobie Mayer, Lambert, Lalande et W. Herschel, voy. Arago dans l'*Annuaire* de 1842, p. 388-399; Argelander, dans les *Nouv. astr.* de Schum., n°s 563, 364, 398, et sur Persée, considéré comme corps central autour duquel tournerait tout l'amas stellaire, dans le *Mémoire sur le mouvement propre du système solaire*, 1837, p. 43; Voy. aussi Othon Struve, dans le *Bull. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, 1842, t. X, n° 9, p. 137-139. Un nouveau calcul de ce dernier donne, pour la direction du mouvement solaire, 261°23′ AR; + 37°36′ Décl.; et en réunissant ce résultat à celui d'Argelander, on trouve, par une combinaison définitive de 797 étoiles, 259°9′ AR; + 34° 36′ Décl.

(3) [page 164]. Aristot., *de Cœlo*, III, 2, p. 201, Bekker; *Phys.*, VIII, 5, p. 256.

(4) [page 165]. Savary, dans la *Connaissance des temps* pour 1830, p. 56 et 163; Encke, *Ephém. de Berlin*, 1832, p. 253 et suiv.; Arago, dans l'*Annuaire* de 1834, p. 260-295; John Herschel, dans les *Mem. of the Astron. Soc.*, vol. V, p. 171.

(5) [page 165]. Bessel, *Recherches sur la partie des perturbations planétaires qui résulte du mouvement de translation du Soleil*, dans les *Mém. de l'Acad. des Sciences de Berlin*, 1824 (*Classe des Mathém.*), p. 2-6. La question avait été soulevée par Jean Tobie Mayer, dans les *Comment. Soc. Reg. Gotting.*, 1804-1808, vol. XVI, p. 31-68.

(6) [page 166]. *Philos. Transact. for* 1803, p. 225; Arago, *Annuaire* de 1842, p. 375. Si l'on veut se figurer d'une manière simple la distance des étoiles, telle que je l'ai rapportée

quelques lignes plus haut, dans le texte, il suffit de placer deux points séparés par une distance d'un pied, pour représenter le Soleil et la Terre; alors Uranus sera situé à 19 pieds du premier point, et Wéga de la Lyre à 64 lieues (de 4000 m.).

(7) [page 166]. Bessel, dans l'*Annuaire* de Schumacher, 1839, p. 53.

(8) [page 167]. Mædler, *Astron.*, p. 476; le même, dans l'*Annuaire* de Schum., 1839, p. 95.

(9) [page 169]: Sir W. Herschel, dans les *Philos. trans. for* 1817, P. II, p. 328.

(10) [page 169]. Arago, dans l'*Annuaire* de 1842, p. 459.

(11) [page 170]. Sir John Herschel, dans une lettre écrite du cap de Bonne-Espérance, le 13 janvier 1836; Nicholl, *Archit. of the Heavens*, 1838, p. 22. Voy. aussi plusieurs indications éparses de sir William Herschel, sur l'espace vide d'étoiles qui nous sépare de la voie lactée, dans les *Philos. Transact. for* 1817, P. II, p. 328.

(12) [page 170]. *Astron.* de sir John Herschel, § 624. Le même, dans les *Observations of Nebulæ and Clusters of Stars* (*Transact.*, 1833, P. II, p. 479, fig. 25.) : « We have here a brother System bearing a real physical resemblance and strong analogy of structure of our own. »

(13) [page 171]. Sir William Herschel, dans les *Transact. for* 1785, P. I, p. 257. Sir John Herschel, *Astron.*, § 616. (« The nebulous region of the heavens forms a *nebulous milky way*, composed of distinct nebulæ as the other of stars. » Le même, dans une lettre adressée à moi, en mars 1829.)

(14) [pag. 171]. John Herschel, *Astron.*, § 585.

(15) [page 172]. Arago, *Annuaire* de 1842, p. 282-285, 409-411 et 439-442.

(16) [page 172]. Olbers, sur la transparence des espaces célestes, dans les *Éphém.* de Bode, 1826, p. 110-121.

(17) [page 172]. « An opening in the heavens, » William Herschel, dans les *Transact. for* 1785, vol. LXXV, P. I, p. 256. Le Français Lalande, dans la *Connaiss. des temps* pour l'an VIII, p. 383. Arago, dans l'*Annuaire* de 1842, p. 425.

(18) [page 173]. Aristot., *Meteor.*, II, 5, 1; Sénèque, *Nat. Quæst.*, I, 14, 2. « Cœlum discessisse, » dans Cic., *de Divin.*, I, 43.

(19) [page 173]. Arago, *Annuaire* de 1842, p. 429.

(20) [p. 174]. En décembre 1837, sir John Herschel vit l'étoile η d'Argo, qui avait toujours été jusqu'alors de seconde grandeur, croître rapidement en éclat et devenir de première grandeur. En janvier 1838, son éclat égalait déjà celui de α du Centaure. D'après les nouvelles les plus récentes, Maclear l'a trouvée en mars 1843, aussi brillante que Canopus; et même α de la Croix du Sud paraissait tout à fait terne à côté de η d'Argo.

(21) [page 175]. « Hence it follows that the rays of light of the remotest nebulæ must have been almost two millions of years on their way, and that consequently, so many of years ago, this object must already have had *an existence* in the sidereal heaven, in order to send out those rays by which we now perceive it. » William Herschel, dans les *Transact. for* 1802, p. 498. John Herschel, *Astron.*, § 590. Arago, *Annuaire* de 1842, p. 334, 359 et 382-385.

(22) [page 175]. Ce vers est tiré d'un beau sonnet de mon frère, Guillaume de Humboldt, *Œuvres complètes*, vol. IV, p. 358, n° 25, allem.

(23) [page 175]. Otfried Müller, *Prolegomena*, § 373.

(24) [page 180]. Quand il s'agit de la plus grande profondeur à laquelle les travaux des hommes aient pu atteindre, il

faut distinguer entre la profondeur *absolue*, comptée à partir de la surface même du sol, et la profondeur *relative*, comptée seulement à partir du niveau de la mer. La plus grande profondeur relative qui ait jamais été atteinte, est peut-être celle du puits artésien de Neu-Salzwerk, près de Minden, en Prusse; elle était, en juin 1844, de 607,4 m.; la profondeur absolue était de 680 m. La chaleur de l'eau, au fond du puits, montait alors à 32°,7; en admettant 9°,6 pour la température moyenne de l'atmosphère, on aurait un accroissement de 1° pour 29,6 m. Le puits de Grenelle, à Paris, a 547 m. de profondeur absolue. Au dire du missionnaire Imbert, la profondeur de nos puits artésiens est bien dépassée par celle des fontaines de feu (Ho-tsing), en Chine; on perce ces puits afin de se procurer le gaz hydrogène que l'on brûle, dans les salines, pour faire évaporer l'eau. Dans la province chinoise de Szou-Tchouan, les *fontaines de feu* ont ordinairement de 600 à 650 m. de profondeur; à Tseou-Lieou-Tsing (*lieu de l'écoulement perpétuel*), on a foré à la corde, en 1812, un Ho-tsing de 975 m. (Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 521 et 525; *Annales de l'association pour la Propagation de la Foi*, 1829, n° 16, p. 369). La profondeur relative atteinte à Monte-Massi, en Toscane, au sud de Volterra, n'est que de 382 m., d'après Matteucci. Il est probable que la houillère d'Apendale, à Newcastle-sur-Tyne (Staffordshire), vient, en fait de profondeur relative, immédiatement après le puits artésien de Neu-Salzwerk. Dans cette mine, les travaux d'exploitation s'exécutent à 725 yards (658 m.) au-dessous de la surface (Thomas Smith, *Miner's Guide*, 1836, p. 160); malheureusement, je ne connais pas la hauteur exacte du sol au-dessus du niveau de la mer. La profondeur de la mine de Monk-Wearmouth, à Newcastle, est de 456 m. seulement (Phillips, dans le *Philos. Magaz.*, vol. V, 1834, p. 446); celle du charbonnage l'Espérance, à Seraing, 413 m., d'après M. de Dechen; celle de l'ancien charbonnage Marihaye, près de Val-Saint-Lambert, dans la vallée de la Meuse, 376 m., d'après M. l'ingénieur des mines Gernaert. Les

fouilles les plus profondes (en mesurant maintenant à partir du sol), ont été entreprises, pour la plupart, sur des plateaux ou dans des vallées tellement hautes que le niveau de la mer n'a été dépassé que de bien peu, ou même n'a jamais été atteint. Un puits de mine, actuellement abandonné, à Kuttenberg, en Bohême, était arrivé à l'énorme profondeur absolue de 1151 m. (F. A. Schmidt, *Lois relatives aux mines dans la Mon. autrich.*, 1re div., vol. I, p. XXXII, allem.) A Saint-Daniel et à Geist, sur la Rœrerbühel (district de Kitzbühl), les travaux étaient parvenus, dans le XVIe siècle, à 947 m. On conserve encore les plans des travaux exécutés sur la Rœrerbühel, en 1539. (Joseph de Sperges, *Histoire des mines du Tyrol*, p. 121, allem.) Cf. aussi Humboldt, *Conseils sur l'achèvement de la galerie de Meissner, dans les mines de Freiberg*, imprimé dans Herder, *Sur la galerie d'écoulement actuellement en voie d'exécution*, 1838, p. CXXIV, allem.) La profondeur extraordinaire de ces travaux paraît avoir été très-anciennement connue en Angleterre; car Gilbert, *de Magnete*, assure que l'homme a pu pénétrer, dans l'écorce terrestre, à 780 et même à 975 m. de profondeur. (« Exigua videtur terræ portio, quæ unquam hominibus spectanda emerget aut eruitur : cum profundius in ejus viscera, ultra efflorescentis extremitatis corruptelam, aut propter aquas in magnis fodinis tanquam per venas scaturientes, aut propter aeris salubrioris ad vitam operariorum sustinendam necessarii defectum, aut propter ingentes sumptus ad tantos labores exantlandos, multasque difficultates, ad profundiores terræ partes penetrare non possumus; adeo ut quadringentas aut [quod rarissime] quingentas orgyas in quibusdam metallis descendisse, stupendus omnibus videatur conatus. » Guillielmi Gilberti, Colcestrensis, *de Magnete Physiologia nova*, Lond., 1600, p. 40.) Les profondeurs absolues des mines de Freiberg, en Saxe, sont de 592 et 557 m.; les profondeurs relatives ne dépassent pas 203 et 84 m., en supposant que, pour trouver la hauteur du sol au-dessus de la mer, on prenne, avec Reich, 387 m. pour celle de Freiberg. La profondeur absolue des mines de Joachims-

thal, en Bohême, non moins célèbre pour sa richesse que celles de Freiberg, est de 646 m., sans que les travaux soient parvenus pour cela au niveau de la mer, puisque les mesures de H. de Dechen donnent environ 731 m. pour hauteur de la surface au-dessus de ce niveau. Dans le Hartz, le puits Samson, à Andreasberg, a 670 m. de profondeur absolue. Je ne connais pas, dans la ci-devant Amérique espagnole, de mines plus profondes que celles de Valenciana, à Guanaxuato (Mexique), où j'ai mesuré la profondeur absolue des *planes de San-Bernardo :* ces *planes* avaient 514 m.; par conséquent il leur manquait encore 1816 mètres pour atteindre le niveau de la mer. La profondeur des anciens travaux de Kuttenberg surpasse la hauteur du mont Brocken, et n'est inférieure à la hauteur du Vésuve que de 65 m. Si on la compare à la hauteur des plus grands édifices construits par la main des hommes (la pyramide de Chéops et la flèche de la cathédrale de Strasbourg), on trouve le rapport de 8 à 1. Nos livres géologiques contiennent tant de données numériques d'une inexactitude manifeste, ces données ont été si souvent altérées par de fausses réductions, qu'il m'a semblé utile de présenter ici tous les documents certains que j'ai pu recueillir, sur les profondeurs absolues et relatives des mines et des puits artésiens. — Lorsqu'on descend de Jérusalem vers la mer Morte, en se dirigeant à l'est, on jouit d'un spectacle unique dans le monde; je dis unique, pour l'état actuel de nos connaissances sur l'hypsométrie de la surface terrestre : à mesure que l'on s'approche de la faille qui sert de lit au Jourdain, on marche à ciel ouvert sur des couches de roches dont la profondeur au-dessous du niveau de la Méditerranée est de 422 m., d'après le nivellement barométrique de Bertou et de Russegger. (Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 323.)

(25) [page 181]. A défaut des travaux des mineurs, les couches qui se recourbent en forme de voûtes renversées, et que l'on voit plonger et reparaître plus loin, à une distance déter-

minée, peuvent donner des indications précieuses sur la constitution des parties très-profondes de la croûte terrestre; les données de cette nature ont un grand intérêt pour la géognosie. Je dois les remarques suivantes à un excellent géologue, M. de Dechen : « La profondeur de la dépression formée par les couches carbonifères de Lüttich, au mont Saint-Gilles, d'après les mesures que j'ai faites, de concert avec mon ami M. de Œynhausen, est d'environ 1186 m. au-dessous de la surface; comme le mont Saint-Gilles n'a certainement pas plus de 130 m. de hauteur absolue, le fond du sinus est à 1056 m. au-dessous du niveau de mer. Le sinus des lits de charbon de terre, à Mons, est encore plus profond de 568 m. Mais ces profondeurs sont bien faibles en comparaison de celles qu'on peut déduire du gisement des lits de charbon de terre de Saar-Revier (Saarbrücken). J'ai trouvé, par différents essais, que la couche de charbon située aux environs de Duttweiler, près de Saarlouis, descend à 6710 m. au-dessous du niveau de la mer. » Ce résultat dépasse de 2600 m. la profondeur que j'ai attribuée, dans le texte, à un sinus formé par le plissement des strates devoniennes. Les lits de charbon de terre dont parle M. de Dechen s'enfoncent ainsi au-dessous du niveau de la mer, autant que le Chimborazo s'élève au-dessus du même niveau. A cette profondeur, la chaleur terrestre doit être de 224°. Des plus hautes cimes de l'Himalaya, jusqu'à ces couches où la végétation du monde primitif est enfouie, la distance comptée verticalement est de 14600 m. ou de $\frac{1}{435}$ du rayon de la Terre.

(26) [page 186]. Platon, *Phædo*, p. 97 (Aristot., *Metaph.*, p. 985). Cf. Hegel, *Philos. de l'hist.*, 1840, p. 16, allem.

(27) [page 186]. Bessel, *Considérations générales sur les travaux d'astronomie géodésique*, à la fin de l'ouvrage de Bessel et Bæyer, *Mesure d'un arc du méridien dans la Prusse orientale*, p. 427. Quant au passage relatif à la Lune, voy. Laplace, *Exp. du syst. du Monde*, p. 308.

(28) [page 187]. Plin. II, 68. Sénèque, *Nat. Quæst. Præf.*, c. II. *El mundo es poco* (la terre est bien petite), disait Christophe Colomb, dans une lettre qu'il écrivait de la Jamaïque, à la reine Isabelle, le 7 juillet 1503, afin de lui faire comprendre que le chemin d'Espagne ne pouvait être long, quand on cherchait « l'Orient en partant de l'Occident. » Cf. mon *Examen crit. de l'hist. de la Géogr. au XVe siècle*, t. I, p. 83 ; et t. II, p. 327. Delisle, Fréret et Gosselin ont soutenu que les contradictions des Grecs, sur les dimensions de notre globe, étaient purement apparentes et pouvaient être levées en tenant compte de la différence des stades pris pour unités de mesure ; j'ai montré, dans les deux passages cités plus haut, que cette opinion avait déjà été émise, en 1495, par Jaime Ferrer, dans une proposition faite par lui pour fixer la ligne de démarcation papale.

(29) [page 187]. Brewster, *Life of sir Isaac Newton*, 1831, p. 162 : « The discovery of the spheroidal form of Jupiter by Cassini had probably directed the attention of Newton to the determination of its cause, and consequently to the true figure of the earth. » La première publication de Cassini sur l'aplatissement de Jupiter (il l'avait fixé à $\frac{1}{15}$), date de 1691 (*Anciens Mémoires de l'Acad. des sciences*, t. II, p. 108). Mais Lalande nous apprend (*Astron.*, 3e éd., t. III, p. 335) que Maraldi possédait, en quelques feuillets imprimés d'un ouvrage latin de Cassini « sur les taches des planètes, » la preuve que Cassini connaissait l'aplatissement de Jupiter avant 1666, c'est-à-dire vingt et un ans avant l'apparition des *Principia* de Newton.

(30) [page 189]. D'après les recherches faites par Bessel sur dix mesures de degré, recherches où il a été tenu compte de la faute que Puissant a découverte dans le calcul de la mesure de degré française (Schumacher, *Nouvelles astronomiques*, 1841, nº 438, p. 116, allem.), le demi-grand axe de l'ellipsoïde de révolution qui se rapproche le plus de la figure irrégulière du

sphéroïde terrestre, est de 3272077^{t},14 (6377398^{m},1); le demi petit axe est de 3261139^{t},33 (6356079^{m},9); l'aplatissement est de $\frac{1}{299,15}$. La longueur du degré moyen d'un méridien est de 57013^{t},109 (111120^{m},64), avec une erreur de $\pm$ 2^{t},8403 (5^{m},536) : ainsi, un mille géographique vaut 3807^{t},23 (7420^{m},43). Les résultats obtenus antérieurement par d'autres auteurs en combinant les mêmes mesures de degré, oscillaient entre $\frac{1}{302}$ et $\frac{1}{297}$, pour l'aplatissement. Ainsi, Walbeck, *De forma et magnitudine Telluris in demensis arcubus meridiani definiendis*, 1819, a trouvé $\frac{1}{302,78}$; Ed. Schmidt, en 1829, a déduit $\frac{1}{297,48}$, de sept mesures de degré (*Cours de mathém. et de géogr. phys.*, p. V); sur l'influence que de grandes différences en longitude exercent sur l'aplatissement polaire, v. la *Bibliothèque universelle*, t. XXXIII, p. 181, et t. XXXV, p. 56; v. aussi la *Connaissance des temps*, 1829, p. 290. — Laplace déduisit des seules inégalités lunaires la valeur de l'aplatissement qu'il fixa à $\frac{1}{304,5}$, d'après les anciennes tables de Bürg; et plus tard, à $\frac{1}{299,1}$, d'après les observations de la Lune discutées par Burckhardt et Bouvard (*Mécanique céleste*, t. V, p. 13 et 143).

(31) [page 189]. Voici les valeurs de l'aplatissement qu'on a déduites des oscillations du pendule : résultat général de la grande expédition de Sabine (1822 et 1823, depuis l'équateur, jusqu'à 80° de latitude nord), $\frac{1}{288,7}$; d'après Freycinet, en excluant les séries de l'île de France, de Guam et de Mowi (Maoui), $\frac{1}{286,2}$; d'après Forster, $\frac{1}{289,5}$; d'après Duperrey, $\frac{1}{266,4}$; d'après Lütke (*Partie nautique*, 1836, p. 232), $\frac{1}{269}$, par onze stations. Les observations qui furent faites entre Formentera et Dunkerque (*Connaiss. des temps*, 1816, p. 330) ont donné $\frac{1}{298,2}$, d'après Mathieu; entre Formentera et l'île d'Unst, $\frac{1}{304}$, d'après Biot. Cf. Baily, *Report on Pendulum experiments*, dans les *Memoirs of the royal Astron. Society*, vol. VII, p. 96; Borenius, dans le *Bulletin de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, 1843, t. I, p. 25. — Le premier qui ait proposé d'employer la longueur du pendule à secondes, comme base d'un système de

mesure, et de prendre le tiers de cette longueur (supposée constante sur toute la terre) pour *pes horarius*, pour unité de mesure dont tous les peuples pourraient, en tout temps, retrouver la valeur, c'est Huyghens, dans son *Horologium oscillatorium*, 1673, prop. 25. Ce vœu se trouve reproduit sur un monument qui fut érigé solennellement sous l'équateur, par Bouguer, La Condamine et Godin. On lit sur la belle table de marbre que j'ai retrouvée intacte dans l'ancien Collége des jésuites, à Quito : Penduli simplicis æquinoxialis unius minuti secundi archetypus, mesuræ naturalis exemplar, utinam universalis ! D'après ce que dit La Condamine dans son *Journal de Voyage à l'Équateur*, 1751, p. 153, sur certaines lacunes de l'inscription, et sur ses différends avec Bouguer au sujet de quelques nombres, je m'attendais à trouver de notables discordances entre la table de marbre et l'inscription publiée à Paris. Toutes comparaisons faites, je ne pus découvrir que deux différences peu importantes : *ex arcu graduum* 3 $\frac{1}{2}$, au lieu de *ex arcu graduum plus quam trium*, et au lieu de 1742, la date 1745. Cette dernière date est singulière, car La Condamine et Bouguer revinrent en Europe en 1744, l'un au mois de novembre, l'autre au mois de juin; Godin lui-même avait déjà quitté l'Amérique en juillet 1844. La correction la plus importante et la plus utile qu'on eût pu faire aux nombres cités dans l'inscription, eût été celle de la longitude astronomique de la ville de Quito (Humboldt, *Recueil d'observ. astron.*, t. II, p. 319-354). Les latitudes gravées par Nouet sur les monuments égyptiens, nous donnent un autre exemple du danger qu'il y a d'accorder trop légèrement une sorte de perpétuité solennelle à des résultats faux ou mal calculés.

(32) [page 189]. Sur l'accroissement de la pesanteur que l'on a remarqué dans les îles volcaniques (Sainte-Hélène, Oualan, Fernando-de-Noronha, île de France, Guaham, Mowi et îles Galapagos), sauf l'île de Rawak qui fait exception à cette règle, peut-être à cause du voisinage des hautes terres de la Nouvelle-

Guinée (Lütke, p. 240), v. Mathieu, dans l'*Hist. de l'Astron. au XVIIIe siècle*, par Delambre, p. 701.

(33) [page 189]. De nombreuses observations ont prouvé qu'il existe, au milieu des continents eux-mêmes, des attractions locales qui se trahissent par de grandes irrégularités dans la longueur du pendule (Delambre, *Mesure de la méridienne*, t. III, p. 548; Biot, dans les *Mém. de l'Acad. des sciences*, t. VIII, 1829, p. 18 et 23). Lorsqu'on traverse, de l'ouest à l'est, le midi de la France et la Lombardie, on trouve à Bordeaux la plus faible intensité de la pesanteur; puis l'intensité croît rapidement à Figeac, à Clermont-Ferrand et à Milan, jusqu'à Padoue, où elle atteint son maximum. L'influence du versant méridional des Alpes sur ces variations ne doit pas être attribuée uniquement à la grande masse de cette chaîne; elle appartient surtout aux roches de mélaphyre et de serpentine qui en ont opéré le soulèvement : cette opinion a été émise par Élie de Beaumont, dans ses *Rech. sur les Révol. de la surface du globe*, 1830, p. 729. On peut en dire autant des versants de l'Ararat, qui se trouve, avec le Caucase, à peu près au centre de gravité de l'Ancien-Continent (Europe, Asie, Afrique); les remarquables observations du pendule, que Fedorow a faites sur ce point, bien loin d'établir l'existence de cavités souterraines, autorisent, au contraire, à conclure à celle de masses volcaniques d'une grande densité (Parrot, *Voyage au mont Ararat*, v. II, p. 143). On trouve, dans les opérations géodésiques de Carlini et de Plana, en Lombardie, des différences de 20″ à 47″,8 entre les latitudes astronomiques et les latitudes déduites de ces opérations (v., par exemple, Andrate et Mondovi, Milan et Padoue, dans les *Opérations géodés. et astron. pour la mesure d'un arc du parallèle moyen*, t. II, p. 347; *Efemeridi astron. di Milano*, 1842, p. 57). Si on calcule la latitude de Milan par celle de Berne, à l'aide de la triangulation française, on trouve 45° 27′ 52″ pour cette latitude, tandis que les observations astronomiques ont donné 45° 27′ 35″.

Comme les perturbations s'étendent dans les plaines de la Lombardie jusqu'à Parme, bien au sud du Pô (Plana, *Opérat. géodés.*, t. II, p. 847), il est permis de croire que les causes qui dévient le fil à plomb tiennent à la nature du sol même de la plaine. Des effets semblables se sont présentés à Struve, dans les plaines les plus unies de l'Europe orientale (Schumacher, *Nouv. astron.*, 1830, n° 164, p. 399). Quant à l'influence des masses pesantes que l'on suppose exister par une profondeur égale à la hauteur moyenne de la chaîne des Alpes, v. les expressions analytiques que Hossart et Rozet ont insérées dans les *Comptes rendus*, t. XVIII, 1844, p. 392; et Cf. avec Poisson, *Traité de mécanique* (2ᵉ édit.), t. I, p. 482. La première indication de l'influence que les roches de diverse nature peuvent exercer sur les oscillations d'un pendule, a été donnée par Thomas Young, dans les *Philos. Transact. for* 1819, p. 70-96. Mais lorsqu'il s'agit de tirer des observations du pendule quelque conclusion sur la courbure de la terre, il ne faut pas perdre de vue que la consolidation de la croûte terrestre peut avoir été antérieure à l'éruption des masses basaltiques et métallifères.

(34) [page 190]. Laplace, *Exp. du syst. du Monde*, p. 231.

(35) [page 191]. Les observations du pendule faites par La Caille, au cap de Bonne-Espérance, et calculées avec le plus grand soin par Mathieu (Delambre, *Hist de l'Astron. au XVIIIᵉ siècle*, p. 479), donnent un aplatissement de $\frac{1}{284,4}$; mais, de quelque manière que l'on combine les observations faites sous les mêmes latitudes, dans les deux hémisphères, on ne trouve aucune raison de croire l'aplatissement de l'hémisphère austral plus fort que celui de l'hémisphère boréal (Biot, dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*, t. VIII, 1829, p. 39-41).

(36) [page 191]. Les trois méthodes d'observation donnent

les résultats suivants : 1° Par la déviation du fil à plomb près du mont Shehallien (en gallois *Thichallin*), dans le Perthshire, méthode proposée autrefois par Newton et mise à exécution, en 1774-1776 et en 1810, par Maskelyne, Hutton et Playfair : 4,713; 2° Par les oscillations d'un pendule observé sur le sommet d'une montagne et dans la plaine : 4,837 (observations de Carlini sur le mont Cenis, comparées aux observations de Biot, à Bordeaux, *Efemer. astr. di Milano*, 1824, p. 184); 3° Par la balance de torsion, et à l'aide d'un appareil imaginé primitivement par Mitchell, Cavendish a trouvé 5,48 (d'après Hutton, qui a revu les calculs, 5,32; d'après la révision d'Édouard Schmidt, 5,52 : *Cours de géogr. mathém.*, vol. I, p. 487, allem.); par la balance de torsion, Reich a trouvé 5,44. Dans le calcul de ces dernières recherches, véritable chef-d'œuvre d'exactitude, le professeur Reich obtint d'abord, pour résultat moyen, 5,43 (avec une erreur probable de 0,0233 seulement); mais, en tenant compte de la quantité dont la force centrifuge diminue l'intensité de la pesanteur, sous la latitude de Freiberg (50° 55′), on obtient définitivement 5,44. La substitution du fer fondu au plomb n'a produit aucune différence qu'on ne fût en droit d'attribuer aux petites erreurs de l'observation; il ne s'est manifesté aucune trace d'action magnétique (Reich, *Recherches sur la densité moyenne de la terre*, 1838, p. 60, 62 et 66, allem.).

La densité moyenne de la Terre, que l'on déduisit d'abord des observations faites au sommet et au pied des montagnes, est trop faible d'environ $\frac{1}{6}$: 4,761 (Laplace, *Mécan. céleste*, t. V, p. 46) ou 4,784 (Ed. Schmidt, *Cours de géographie mathématique*, vol. I, § 387 et 418). Cette différence s'explique par l'emploi, dans les calculs, d'une valeur trop faible de l'aplatissement, et par la difficulté de déterminer avec exactitude la densité des roches de la surface. — Voyez sur l'hypothèse de Halley (citée p. 193, dans le texte) qui considérait la Terre comme une sphère creuse (c'est là le germe des idées de Franklin sur les tremblements de terre) les *Philos. Transact.*,

for the year 1693, vol. XVII, p. 563 (On the structure of the internal parts of the Earth, and the concave habitated arch of the shell). Halley pense qu'il est plus digne du Créateur « que le globe terrestre soit habité à l'intérieur et à l'extérieur, comme une maison à plusieurs étages. Quant à la lumière nécessaire pour éclairer l'intérieur, il doit y avoir été pourvu d'une façon quelconque (p. 576). »

(37) [page 195]. Cette question a été l'objet des beaux travaux analytiques de Fourier, de Biot, de Laplace, de Duhamel et de Lamé. Dans la *Théorie mathématique de la Chaleur*, 1835, p. 3, 428-430, 436 et 531-524 (voy. aussi l'extrait qu'en a fait De la Rive dans la *Bibliothèque univers. de Genève*, t. LX, p. 415), Poisson a développé une hypothèse complétement opposée aux vues de Fourier (*Théorie analytique de la Chaleur*). Il nie que le noyau de la Terre soit actuellement à l'état liquide; suivant lui, « lorsque la Terre s'est refroidie en rayonnant vers le milieu ambiant, les parties de la surface qui se sont solidifiées les premières se sont aussitôt précipitées vers le centre, et un double courant ascendant et descendant a ainsi diminué la grande inégalité qui aurait eu lieu dans un corps solide dont le refroidissement s'opère à partir de la surface. » Le grand géomètre admet que la solidification a débuté par les parties les plus rapprochées du centre; « que le phénomène de la chaleur croissant avec la profondeur, ne s'étend point à la masse entière du globe, et qu'elle est une simple conséquence du mouvement de notre système planétaire dans l'espace céleste, dont les diverses parties possèdent, en vertu de la chaleur stellaire, des températures très-différentes. » La chaleur des eaux de nos puits artésiens ne serait donc, d'après Poisson, qu'une chaleur étrangère qui aurait pénétré de l'extérieur à l'intérieur du globe terrestre; « on pourrait comparer celui-ci à un bloc de rocher que l'on transporterait de l'équateur jusque sous les pôles, assez rapidement pour qu'il n'eût pas le temps de se refroidir

entièrement; l'accroissement de température ne s'étendrait pas, dans un tel bloc, jusqu'aux couches voisines du centre. « On peut lire dans les *Annales de Physique et de Chirurgie* de Poggendorff, vol. XXXIX, p. 93-100, les justes objections que cette singulière théorie cosmogonique a soulevées, en attribuant aux espaces célestes un phénomène qui s'explique bien mieux par le passage de la matière primitivement gazeuse, à l'état actuel de solidification.

(38) [page 196]. L'accroissement de chaleur indiquée par le puits de Grenelle, à Paris, est de 1° pour 32 m.; par le puits artésien de Neu-Salzwerk, près de Minden, en Prusse, de 1° pour 29^{m},6; à Périgny, près de Genève, l'orifice du puits artésien est situé à 490 m. au-dessus du niveau de la mer, et pourtant l'accroissement y est encore de 1° pour 29^{m},6 d'après Auguste De la Rive et Marcet. Cette méthode a été proposée pour la première fois, en 1821, par Arago (*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1835, p. 234); on vient de voir l'admirable concordance des résultats qu'elle a fournis par trois puits artésiens dont les profondeurs sont respectivement 547, 680 et 221 mètres. S'il est deux points sur la terre (situés à peu de distance l'un au-dessous de l'autre) dont les moyennes températures annuelles soient bien connues, ces deux points se trouvent à l'Observatoire de Paris où la température de l'air extérieur est 10°,822, et celle des *caves* 11°,834; la différence est 1°,012 pour 28 mètres de profondeur (Poisson *Théorie mathém. de la Chaleur*, p. 415 et 462). Il paraît que dans le cours de ces dix-sept dernières années, certaines causes dont la nature n'est pas encore parfaitement connue, ont fait monter de 0°,220, non la température des caves de l'Observatoire, mais bien les indications du thermomètre qui s'y trouve fixé. Si les puits artésiens présentent quelques chances de perturbations dans leur température propre, pour peu que des eaux étrangères s'y introduisent par des fissures latérales, les observations faites dans les mines sont exposées à bien d'autres erreurs, à cause des cou-

rants d'air froid qui y circulent sans cesse. Les nombreuses recherches que Reich a faites sur la température des puits des mines de Saxe, établissent un accroissement un peu plus lent de la chaleur terrestre ; Reich trouve 1° d'augmentation pour 41m,84. (*Observations sur la température des couches à diverses profondeurs*, 1834, p. 134.) Cependant, Phillips a trouvé (*Annales* de Poggend., vol. XXXIV, p. 191) dans un puits de la houillère de Monk-Wearmouth, à Newcastle, dont la profondeur est de 456 m. au-dessous du niveau de la mer, une augmentation de chaleur de 1° pour 32m,4, résultat presque identique à celui qu'Arago et Walferdin ont obtenu par le puits de Grenelle.

(39) [page 197]. Boussingault, *Sur la profondeur à laquelle se trouve la couche de température invariable, entre les tropiques*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. LIII, 1833, p. 225-247.

(40) [page 199]. Laplace, *Exp. du Syst. du Monde*, p. 229 et 263 ; *Mécanique céleste*, t. V, p. 18 et 72. Il est à remarquer que la fraction $\frac{1}{170}$ de degré centésimal du thermomètre à mercure, laquelle désigne, dans le texte, la limite de la stabilité de la température terrestre, depuis les temps d'Hipparque, suppose que la dilatation des matières dont le globe terrestre se compose est égale à celle du verre, ou à $\frac{1}{100,000}$ pour 1° du thermomètre. Voy. les remarques d'Arago sur cette hypothèse, dans l'*Annuaire* pour 1834, p. 177-190.

(41) [page 200]. William Gilbert, de Colchester, que Galilée nommait « grand jusqu'à faire naître l'envie, » disait déjà : « Magnus magnes ipse est globus terrestris. » Il raillait les montagnes d'aimant que Fracastor, l'illustre contemporain de Christophe Colomb, plaçait aux pôles : « Rejicienda est vulgaris opinio de montibus magneticis, aut rupe aliqua magnetica, aut polo phantastico a polo mundi distante. » Il admet que la déclinaison de l'aiguille aimantée est invariable sur toute la terre (*variatio uniuscujusque loci constans est*) ; et il explique

les courbures des lignes isogoniques par la configuration des continents et la situation des bassins des mers, dont l'action magnétique est moindre que celle des masses solides qui s'élèvent au-dessus du niveau de l'Océan. (Gilbert, *de Magnete*, ed. 1633, p. 42, 98, 152 et 155.)

(42) [page 200]. Gauss, *Théorie générale du Magnétisme terrestre*, dans les *Résultats des observations de l'Union pour le magnétisme*, 1838, § 41, p. 56.

(43) [page 201]. Il existe d'autres causes perturbatrices encore plus locales, dont le siége est peut-être moins profondément situé, et dont les effets ne s'étendent pas très-loin. J'ai fait connaître, il y a déjà longtemps, un exemple fort rare de ces perturbations exceptionnelles qui s'étaient fait sentir dans les mines de Saxe et non à Berlin (*Lettre de M. de Humboldt à son A. R. le duc de Sussex, sur les moyens propres à perfectionner la connaissance du magnétisme terrestre*, dans le *Traité expérimental de l'électricité*, t. VII, p. 442). On a vu certains orages magnétiques se manifester simultanément depuis la Sicile jusqu'à Upsala, sans se propager d'Upsala à Alten (Gauss et Weber, *Résultats de l'Union magnétique*, 1839, p. 128; Lloyd, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XIII, 1843. Sém. II, p. 725 et 827). Parmi les nombreux et récents exemples de ces perturbations, que Sabine a rassemblés dans son important ouvrage (*Observ. on days of unusual magnetic disturbance*, 1843), l'un des plus remarquables est celui du 25 septembre 1841 : la perturbation se fit sentir à Toronto, dans le Canada, au cap de Bonne-Espérance, à Prague, et, en partie du moins, à la terre de Van-Diémen. Les Anglais attachent tant d'importance à la solennité du dimanche, qu'ils croiraient commettre un péché s'ils consentaient à lire une échelle graduée, une fois que minuit a sonné dans la nuit qui suit le samedi, quand bien même il s'agirait des plus merveilleux phénomènes de la création. Or, comme l'orage magnétique dont nous parlons tomba précisément sur

un dimanche, dans la terre de Van-Diémen, à cause de la différence de longitude, l'observation resta incomplète. (*Observ.*, p. XIV, 78, 85 et 87.)

(44) [page 201]. J'ai montré, dans le *Journal de Physique* de Lamétherie, 1804, t. LIX, p. 449, comment on peut déterminer la latitude à l'aide de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, sur une côte dirigée du nord au sud qui, comme celles du Chili et du Pérou, serait constamment enveloppée de brouillards (*garua*) pendant une partie de l'année. Cette application est d'une utilité d'autant plus réelle, pour cette localité, qu'un courant violent y porte du sud au nord, jusqu'à Cabo-Parina, et qu'un navigateur perdrait beaucoup de temps si, faute de bien connaître sa latitude, il attaquait la côte au nord du port où il veut relâcher. Dans la mer du Sud, depuis le Callao de Lima jusqu'à Truxillo, c'est-à-dire pour une différence en latitude de 3° 57', j'ai trouvé 9° (division centésimale) de variation dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée; de Callao à Guayaquil, j'ai trouvé, pour 9° 50' de différence en latitude, 23°,05 de différence dans l'inclinaison magnétique (voy. ma *Relation historique*, t. III, p. 622). A Guarmey (lat. 10° 4' sud), à Huaura (lat. 11° 3'), à Chancay (lat. 11° 22'), les inclinaisons sont respectivement : 6°,80; 9°,00 et 10°,35 de la division centésimale. Cette méthode, pour déterminer la latitude à l'aide de la boussole d'inclinaison, est donc parfaitement applicable, lorsque le vaisseau fait route en coupant à peu près à l'angle droit les lignes isocliniques, et elle a cet avantage remarquable sur toutes les autres méthodes, qu'elle n'exige point la détermination de l'heure, ni par conséquent l'observation du Soleil ou des autres astres. J'ai trouvé *tout récemment* que, vers la fin du XVIe siècle, vingt ans à peine après l'invention de l'*Inclinatorium* par Robert Norman, William Gilbert avait proposé, dans son grand ouvrage *de Magnete*, de déterminer la latitude par l'aiguille aimantée, lorsque le ciel est nébuleux « aere caliginoso » (*Physiologia nova de Magnete*, lib. V,

cap. 8, p. 200). Edward Wright dit, dans la préface qu'il a jointe à l'œuvre de son illustre maître, qu'une telle proposition « vaut beaucoup d'or. » Mais comme il croyait, avec Gilbert, que les lignes isocliniques coïncidaient avec les parallèles de la sphère, ainsi que l'équateur magnétique avec l'équateur géographique, il n'a point remarqué que cette méthode ne saurait être employée partout, mais seulement dans quelques localités.

(45) [page 202]. Gauss et Weber, *Résultats de l'Union magnétique*, 1838, § 31, p. 46.

(46) [page 202]. D'après Faraday (*London and Edinburgh Philosophical Magazine*, 1836, vol. VIII, p. 178), le cobalt pur ne possède aucune propriété magnétique. A la vérité, d'autres chimistes célèbres (Henri Rose et Wœhler) ne regardent pas les expériences de Faraday comme complétement décisives. Cependant, si de deux masses de cobalt épurées avec soin et supposées toutes deux exemptes de nickel, l'une se montrait indifférente au magnétisme (je parle du magnétisme *en repos*), tandis que l'autre présenterait quelques propriétés magnétiques, on serait en droit, ce me semble, de soupçonner dans celle-ci un manque de pureté, et de conclure comme l'a fait Faraday.

(47) [page 202]. Arago, dans les *Annales de Chimie*, t. XXXII, p. 214; Brewster, *Treatise of Magnetism*, 1837, p. 111; Baumgartner, dans le *Journal de phys. et de mathém.*, vol. II, p. 419, allem.

(48) [page 203]. Humboldt, *Examen critique de l'hist. de la géographie*, t. III, p. 36.

(49) [page 203]. *Asie centrale*, t. I. Introduction, page XXXVII-XLII. Les peuples occidentaux, les Grecs et les Romains savaient que l'on peut communiquer au fer des propriétés magnétiques *permanentes* (« Sola hæc materia ferri vires a

magnete lapide accipit *retinetque longo tempore,* » Plin. XXXIV, 14). On aurait donc pu découvrir aussi, *dans l'Occident,* la force directrice du globe, si on s'était avisé de suspendre à un fil ou de faire flotter sur l'eau, à l'aide d'un support en bois, un long fragment d'aimant ou un barreau de fer aimanté, et d'observer ensuite leurs mouvements dans l'état de liberté.

(50) [page 204]. Les lieux où la déclinaison magnétique est invariable ou, du moins, n'éprouve que de lentes variations séculaires, sont les seuls où l'on puisse fixer les lignes de démarcation à l'aide de la boussole, sans tenir compte des corrections de la déclinaison de l'aiguille, et sans s'exposer au danger de voir les actions magnétiques du globe faire changer, à la longue, la superficie légalement constatée des propriétés. « The whole mass of West-India property, » dit sir John Herschel, « had been saved from the bottomless pit of endless litigation, by the invariability of the magnetic declination in Jamaica and the surrounding archipelago, during the whole of the last century, all surveys of property there having been conducted solely by the compass. » Voy. Robertson, dans les *Philos. Transact. for* 1806, P. II, p. 248, *On the permanency of the compass in Jamaica since* 1660. Dans la mère patrie (l'Angleterre), la déclinaison a varié de 14° dans le même laps de temps.

(51) [page 204]. J'ai montré ailleurs que les documents qui nous sont parvenus sur les voyages de Christophe Colomb, peuvent servir à fixer la position exacte de trois points de la *ligne atlantique sans déclinaison*, pour le 13 septembre 1492, le 21 mai 1496 et le 16 août 1498. La ligne atlantique sans déclinaison était alors dirigée du N.-O. au S.-O.; elle touchait le continent méridional de l'Amérique, un peu à l'est du cap Codera, tandis qu'elle le touche aujourd'hui au nord du Brésil (Humboldt, *Examen critique de l'hist. de la géogr.*, t. III, p. 44-48). On voit clairement par la *Physiologia nova de Magnete*

de Gilbert (lib. IV, cap. 1), qu'en 1660 la déclinaison était nulle aux environs des Açores, comme du temps de Colomb. Je crois avoir prouvé, sur des documents certains, dans mon *Examen critique* (t. III, p. 54), que si la fameuse ligne de démarcation, établie par le pape Alexandre VI pour partager l'hémisphère occidental entre le Portugal et l'Espagne, n'a point été tracée par la plus occidentale des Açores, c'est parce que Colomb désirait faire, d'une division *naturelle*, une division *politique*. Aussi, Colomb a-t-il toujours attaché une importance extrême à la zone (*raya*) « où la boussole est sans variation, où l'air et la mer couverte d'herbes marines commencent à offrir une constitution nouvelle, où les brises fraîches commencent à se faire sentir, et la courbure de la terre à changer (ce dernier point lui paraissait résulter de quelques observations de la polaire dont il serait superflu de vouloir aujourd'hui démontrer la fausseté). »

(52) [page 205]. Une des questions dont la solution importe le plus à la théorie physique du magnétisme terrestre, c'est de savoir si les deux systèmes ovales de lignes isogoniques doivent conserver leur forme singulière, pendant toute la durée de ce siècle, où s'ils doivent finir par se dissoudre en se développant. Dans le nœud de l'Asie orientale, la déclinaison augmente de dehors en dedans. Le contraire a lieu pour le nœud ou l'ovale de la mer du Sud; on ne connaît même aujourd'hui dans toute la mer du Sud, à l'est du méridien du Kamschatka, aucune ligne de déclinaison qui soit au-dessous de 2° (Erman, dans les *Annales* de Poggend., vol. XXI, p. 129). Cependant Cornélius Schouten aurait trouvé, en 1616, le jour de Pâques, la déclinaison nulle par 15° de latitude sud et par 132° de longitude occidentale, c'est-à-dire un peu dans le sud-ouest de Noukahiva (Hansteen, *Magnétisme de la Terre*, 1819, p. 28, allem.). Il ne faut pas perdre de vue que les déplacements des lignes magnétiques ne peuvent être suivis autrement qu'en projection sur la surface même du globe.

(53) [page 206]. Arago, dans l'*Annuaire*, 1836, p. 284 et 1840, p. 330-338.

(54) [page 206]. Gauss, *Théorie générale du magnétisme terrestre*, § 31, allem.

(55) [page 206]. Duperrey, *De la configuration de l'équateur magnétique*, dans les *Annales de Chimie*, t. XLV, page 371 et 379. (Voy. aussi Morlet, dans les *Mémoires présentés par divers savants à l'Acad. royale des sciences*, t. III, p. 132.)

(56) [page 207]. Voy. dans l'ouvrage de Sabine (*Contributions to terrestrial magnetism*, 1840, p. 139) la remarquable carte des lignes isocliniques, dans l'océan Atlantique, pour les années 1825 et 1837.

(57) [page 208]. Humboldt, *Sur les variations séculaires de l'inclinaison magnétique*, dans les *Annales* de Poggend., vol. XV, p. 322.

(58) [page 209]. Gauss, *Résultats des observ. de l'Union magnét.*, 1838, § 21; Sabine, *Report on the variations of the magnetic Intensity*, p. 63.

(59) [page 209]. Voici l'exposé historique des faits relatifs à la découverte d'une loi importante pour le magnétisme terrestre, celle des intensités croissant (en général) avec les latitudes magnétiques. Lorsque je voulus m'adjoindre, en 1798, à l'expédition du capitaine Baudin, pour un voyage de circumnavigation, Borda s'intéressa vivement à mon projet, et m'invita à faire osciller une aiguille verticale dans le méridien magnétique, par différentes latitudes, sur l'un et l'autre hémisphère, afin d'examiner si l'intensité magnétique varie, ou si elle est partout la même. Ces recherches furent effectivement un des objets principaux que j'eus en vue, lorsque j'entrepris mon voyage dans les régions équinoxiales de l'Amérique. Là, je parvins à constater, par mes observations, qu'une même ai-

guille faisant, en 10 minutes, 245 oscillations à Paris, en fait 246 à la Havane, 242 à Mexico, 216 à San-Carlo del Rio-Negro (lat. 1° 53′ N., long. 80° 40′ O.); 211 seulement au Pérou, sur l'équateur magnétique, c'est-à-dire sur la ligne où l'inclinaison = 0 (lat. 7° 1′ S., long. 80° 40′ O.), et que cette même aiguille transportée à Lima (lat. 12° 2′ S.), exécute 219 oscillations, dans le même intervalle de temps. Ainsi, de 1799 à 1803, j'ai trouvé qu'en représentant par 1,000 la force totale sur l'équateur magnétique, dans la chaîne des Andes péruviennes, entre Micuipampa et Caxamarca, la force totale à Paris est représentée par 1,3482; à Mexico, par 1,3155; à San-Carlo del Rio-Negro, par 1,0480; à Lima, par 1,0773. Lorsque je développai à l'Institut, le 26 frimaire an XIII, dans un mémoire dont la partie mathématique appartient à M. Biot, la loi des variations de l'intensité de la force magnétique du globe, en montrant qu'elle était vérifiée par les valeurs numériques déduites des observations que j'avais faites en 104 points différents, la loi et les faits parurent complétement nouveaux. Ce fut seulement après la lecture de ce Mémoire que M. de Rossel communiqua à M. Biot six observations antérieures, faites, de 1791 à 1794, à la terre de Van-Diémen, à Java et à Amboine : cette circonstance a été expressément consignée par Biot dans le Mémoire indiqué ci-dessus (Lamétherie, *Journal de Physique*, t. LIX, p. 446, note 2), et par moi-même dans la *Relation histor.*, t. I, p. 262, note 1. Les observations de M. de Rossel établissent aussi le décroissement d'intensité dans l'archipel Indien. Il est à présumer qu'avant la lecture de mon Mémoire, cet excellent homme n'avait point reconnu, dans ses propres travaux, la régularité avec laquelle l'intensité augmente ou diminue; car il n'avait jamais parlé de cette loi importante à nos amis communs Laplace, Delambre, Prony et Biot. Ce fut en 1808 seulement, c'est-à-dire quatre ans après mon retour d'Amérique, que les observations de M. de Rossel parurent dans le *Voyage d'Entrecasteaux*, t. II, p. 287, 291, 321, 480 et 644. Dans toutes les *Tables d'intensité magné-*

tique qui ont paru, soit en Allemagne (Hansteen, *Magnét. de la Terre*, 1816, p. 71; Gauss, *Obs. de l'Union magnét.*, 1838, p. 36-39; Erman, *Obs. phys.*, 1841, p. 529-579), soit en Angleterre (Sabine, *Report on magnet. Intensity*, 1838, p. 43-62; *Contributions to terrestrial Magnetism*, 1843), soit en France (Becquerel, *Traité d'Électric. et de Magnét.*, t. VII, p. 354-367), on a conservé l'habitude de réduire les oscillations observées en quelque lieu que ce soit sur la surface du globe, à la mesure de la force que j'ai trouvée sur l'équateur magnétique, dans le Pérou septentrional; c'est ainsi que cette force étant choisie pour unité conventionnelle, l'intensité magnétique à Paris se trouve exprimée par 1,348. Mais d'autres observations, antérieures même à celles de l'amiral Rossel, ont été faites par Lamanon, pendant la malheureuse expédition de Lapérouse, et adressées à l'Académie des sciences : ces observations, commencées pendant la relâche à l'île de Ténériffe (1785), ont été continuées jusqu'à l'arrivée à Macao (1787). On sait positivement (Becquerel, t. VII, p. 320) qu'elles étaient déjà, en juillet 1787, entre les mains de Condorcet; mais quelques recherches qu'on ait pu faire jusqu'à présent, ces observations n'ont point été retrouvées. Le capitaine Duperrey possède la copie d'une lettre très-importante de Lamanon, adressée au secrétaire perpétuel de l'Académie et oubliée dans l'impression du Voyage de Lapérouse. Il y est dit expressément « que la force attractive de l'aimant est moindre dans les tropiques qu'en avançant vers les pôles, et que l'intensité magnétique, déduite du nombre des oscillations de l'aiguille de la boussole d'inclinaison, change et augmente avec la latitude. » Si l'Académie des sciences s'était crue autorisée à devancer le retour alors espéré de l'infortuné Lapérouse, et à publier, en 1787, une vérité qui a dû être retrouvée depuis par deux voyageurs complétement étrangers l'un à l'autre, la théorie du magnétisme terrestre n'aurait pas attendu dix-huit ans le progrès dont elle devait être dotée par la découverte d'une nouvelle classe de phénomènes. Cette simple exposition des faits

justifiera sans doute le passage suivant de ma *Relation historique*, t. III, p. 615 : « Les observations sur les variations du magnétisme terrestre auxquelles je me suis livré pendant trente-deux ans, au moyen d'instruments comparables entre eux, en Amérique, en Europe et en Asie, embrassent, dans les deux hémisphères, depuis les frontières de la Dzoungarie chinoise, jusque, vers l'ouest, à la mer du Sud qui baigne les côtes du Mexique et du Pérou, une espace de 188° de longitude, depuis les 60° de latitude nord, jusqu'aux 12° de latitude sud. J'ai considéré la loi du décroissement des forces magnétiques, du pôle à l'équateur, comme le résultat le plus important de mon voyage américain. » Il n'est pas certain, mais il est très-probable que Condorcet a lu la lettre de Lamanon du mois de juillet 1787, dans une séance de l'Académie des sciences; et je regarde une simple lecture de ce genre comme une *publication* parfaitement valable (*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1842, p. 463). Ainsi le compagnon de Lapérouse est incontestablement le premier qui ait reconnu l'existence de la loi; mais cette loi de l'intensité du magnétisme terrestre variable avec la latitude, loi qu'on a si longtemps négligée ou laissée dans un profond oubli, n'a reçu, ce me semble, une véritable existence scientifique qu'à dater de l'époque où j'ai publié mes observations de 1798 à 1804. L'objet et la longueur de cette note ne surprendront point les personnes qui connaissent l'histoire récente du magnétisme et les incertitudes qu'elle a pu faire naître dans quelques esprits; on m'excusera d'attacher de l'importance au fruit de recherches pénibles, souvent périlleuses, entreprises dans un noble but, et continuées pendant cinq ans avec énergie, malgré le poids du climat des tropiques.

(60) [p. 210]. Les observations que l'on a pu recueillir jusqu'à présent donnent 2,071 pour le maximum d'intensité sur la surface entière du globe terrestre (Sabine, *Contributions to terrestrial Magnetism*, 1843, n° 5, p. 331), et 0,706 pour le minimum. Le minimum a été observé par Erman, par 19° 59′ de

latitude sud et 37° 24′ de longit. ouest, à 80 milles à l'est de la côte brésilienne de la province Espiritu-Santo (Erman, *Observ. phys.*, 1841, p. 570); en ce point, l'inclinaison est seulement de 7° 55′. Ainsi, le rapport exact des intensités est celui de 1 à 2,933. Longtemps on a cru que l'intensité la plus forte ne dépassait pas deux fois et demie l'intensité la plus faible qu'on pût trouver sur la surface de notre planète (Sabine, *Report on magn. Intensity*, p. 82).

(61) [page 210]. Pline a dit sur l'ambre (*Succinum*, *glassum*) XXXVII, 3 : « Genera ejus plura. Attritu digitorum accepta caloris anima trahunt in se paleas ac folia arida quæ levia sunt, ac ut magnes lapis ferri ramenta quoque. » (Plato, *in Timæo*, p. 80; Martin, *Études sur le Timée*, t. II, p. 343-346; Strabo XV, p. 703, Casaub.; Sanctus Clemens Alex. *Strom.*, II, p. 370, où l'on trouve une distinction singulière entre τὸ σούχιον et τὸ ἤλεκτρον). Lorsque Thalès, dans Aristot., *de Anima*, I, 2, et Hippias, dans Diog. Laert., I, 24, attribuent une âme à l'aimant et à l'ambre, il est évident que ce mot *âme* désigne simplement ici une force ou une cause de mouvement.

(62) [page 211]. « L'aimant attire le fer, tout comme l'ambre attire les plus petites graines de sénevé. C'est comme si un souffle mystérieux parcourait ces deux matières et se communiquait avec la rapidité de la flèche. » Ainsi parlait Kouopho, ce philosophe chinois qui écrivit l'éloge de l'aimant, vers le commencement du IVe siècle (Klaproth, *Lettre à M. A. de Humboldt, sur l'invention de la Boussole*, 1834, p. 125).

(63) [page 212]. « The phenomena of periodical variations depend manifestly on the action of solar heat, operating probably through the medium of thermoelectric currents induced on the earth's surface. Beyond this rude guess however, nothing is as yet known of the physical cause. It is even still a matter

of speculation, whether the solar influence be a principal, or only a subordinate cause in the phenomena of terrestrial magnetism. » (*Observ. to be made in the Antarctic exped.*, 1840, p. 35.)

(64) [page 212]. Barlow, dans les *Philos. Transact. for* 1822, p. I, p. 117; sir David Brewster, *Treatise on Magnetism*, p. 129. L'influence de la chaleur pour diminuer la force directrice de l'aiguille aimantée a été enseignée dans l'ouvrage chinois *Ou-thsa-tsou*, longtemps avant Gilbert et Hooke (Klaproth, *Lettre à M. A. de Humboldt, sur l'invention de la Boussole*, p. 96).

(65) [page 213]. V. le mémoire *On terrestrial magnetism*, dans la *Quart. Review*, 1840, vol. LXVI, p. 271-312.

(66) [page 214]. Lorsque je proposai, pour la première fois, de fonder un réseau d'observatoires, tous munis d'instruments semblables, je n'avais guère alors l'espoir de vivre assez pour voir mes vœux réalisés, comme ils l'ont été en effet par les efforts réunis d'astronomes et de physiciens distingués, et surtout par l'intervention généreuse et soutenue de deux grandes puissances, la Russie et l'Angleterre. Aujourd'hui, grâce au concours de tant de pouvoir et de tant de lumières, les deux hémisphères sont couverts *d'observatoires magnétiques*. J'avais formé le projet d'observer, sans interruption, la marche de l'aiguille aimantée pendant cinq ou six jours et autant de nuits, principalement à l'époque des solstices et des équinoxes, et j'avais mis ce projet à exécution, à Berlin, en 1806 et en 1807, avec mon ami et mon collaborateur, M. Oltmann. J'étais persuadé qu'une série d'observations continuées, sans interruption (*observatio perpetua*), pendant plusieurs jours et plusieurs nuits, serait plus fructueuse que des observations isolées faites durant plusieurs mois. L'appareil employé, une *lunette magnétique* de Prony, suspendue dans une boîte à glaces à l'aide d'un fil sans torsion, permettait de mesurer des angles

de sept ou de huit secondes sur une mire éloignée qui portait des divisions fines et qu'on éclairait, la nuit, avec une lampe. Déjà, à cette époque, des *perturbations* (orages magnétiques) qui revenaient parfois aux mêmes heures, pendant plusieurs nuits consécutives, me faisaient désirer vivement que de semblables appareils fussent observés simultanément à l'ouest et à l'est de Berlin, afin de pouvoir enfin distinguer les phénomènes généraux du magnétisme terrestre, d'avec les perturbations locales qui se produisent, soit dans la croûte inégalement échauffée de notre globe, soit dans l'atmosphère où se forment les nuages. Mon voyage à Paris, et les troubles politiques de cette époque, s'opposèrent alors à l'accomplissement des vœux que j'avais exprimés. Mais, en 1820, la grande découverte d'Œrsted vint répandre une vive lumière sur l'intime connexité de l'électricité et du magnétisme, et attirer enfin l'intérêt général sur les variations périodiques de la tension magnétique du globe. Arago, qui avait commencé quelques années auparavant, à l'Observatoire de Paris, avec une admirable boussole de déclinaison de Gambey, la plus longue série continue d'observations horaires qu'il y ait en Europe, Arago, dis-je, montra, par la comparaison de ses observations avec celles de Kasan, faites aux mêmes heures et accusant les mêmes perturbations, tout l'avantage qu'on pouvait retirer de mesures correspondantes de la déclinaison. Lorsque je retournai à Berlin, après un séjour de dix-huit ans à Paris, je fis élever un petit observatoire magnétique pendant l'automne de 1828, afin de continuer le travail commencé en 1806, et surtout dans le but d'instituer un système d'observations simultanées, faites à des heures convenues, à Berlin, à Paris et dans les mines de Freiberg (par 66 m. de profondeur). La simultanéité des perturbations et le parallélisme des mouvements de l'aiguille, pendant les mois d'octobre et de décembre 1829, furent dès lors représentés graphiquement (*Annales* de Poggend., vol. XIX, p. 357, tabl. I-III). Bientôt une expédition entreprise en 1819, sur l'ordre de l'empereur de Russie, dans l'Asie septentrionale,

vint me fournir l'occasion d'exécuter mon plan sur une échelle plus vaste. Ce plan fut développé dans le sein d'une commission spécialement instituée à cet effet par l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg; en conséquence, sous la protection du chef du corps des mines, le comte Cancrin, et sous la savante direction du prof. Kupffer, des stations magnétiques furent établies dans toute l'Asie septentrionale, depuis Nicolajeff, Catharinenbourg, Barnaul, Nertchinsk, jusqu'à Pékin. L'année 1832 figure dans les annales de la science, comme l'époque où l'illustre fondateur d'une théorie générale du magnétisme terrestre, Frédéric Gauss, commença à établir dans l'Observatoire de Gœttingue des appareils construits sur de nouveaux principes. L'observatoire magnétique fut achevé en 1834, et dans la même année (*Résultats des obs. de l'Union magnét.*, 1838, p. 135, et *Annales* de Poggend., vol. XXXIII, p. 426), Gauss, activement aidé par un ingénieux physicien, G. Weber, fit connaître ses instruments, ses méthodes d'observation, et les répandit en Suède, en Italie et dans une grande partie de l'Allemagne. Telle est l'origine de l'Union magnétique dont Gœttingue est le centre. Depuis 1836, cette Union a fixé quatre époques dans l'année pour les observations qui doivent être continuées pendant vingt-quatre heures; mais ces époques ne coïncident point avec celles que j'avais adoptées (les équinoxes et les solstices) et proposées en 1830. Jusque-là, la Grande-Bretagne, en possession des plus vastes relations commerciales du monde entier et de la navigation la plus étendue, était restée étrangère à ce grand mouvement scientifique, dont les résultats faisaient espérer, dès 1828, tant de progrès pour l'étude du magnétisme terrestre. Une invitation publique que j'adressai de Berlin, en avril 1836, au président de la Société royale de Londres, le duc de Sussex (*Lettre de M. de Humboldt à S. A. R. le duc de Sussex, sur les moyens propres à perfectionner la connaissance du magnétisme terrestre par l'établissement de stations magnétiques et d'observations correspondantes*), fut couronnée d'un plein succès; j'eus le bonheur

d'appeler un intérêt bienveillant sur une entreprise dont l'extension était, depuis bien des années, l'objet de mes vœux les plus ardents. J'insistais, dans cette lettre, sur l'établissement de stations permanentes dans le Canada, à Sainte-Hélène, au cap de Bonne-Espérance, à l'île de France, à Ceylan et à la Nouvelle-Hollande, points dont j'avais signalé l'importance cinq ans auparavant. Un comité, dont les attributions devaient s'étendre à la physique et à la météorologie, fut nommé dans le sein de la Société royale, et ce comité proposa au gouvernement : 1° la fondation d'observatoires magnétiques fixes dans les deux hémisphères; 2° une expédition navale destinée à recueillir des observations magnétiques dans les mers antarctiques. On sait assez combien la science a été redevable à la grande et noble activité que sir John Herschel, Sabine, Airy et Lloyd ont déployée à cette occasion, ainsi qu'au puissant appui de l'*Association britannique pour l'avancement des Sciences*, réunie à Newcastle en 1838. En juin 1839, l'expédition magnétique vers le pôle austral fut résolue et placée sous le commandement du capitaine James Clark Ross. Cette expédition a été glorieusement terminée; elle a doté la science des plus importantes découvertes géographiques vers le pôle austral, et d'observations simultanées en huit ou dix stations magnétiques.

(67) [page 214]. Au lieu d'attribuer la chaleur interne de la terre au passage de la matière, de l'état de nébulosité gazeuse, à l'état solide, Ampère l'explique d'une manière fort peu vraisemblable, à mon avis, par l'action chimique prolongée d'un noyau composé de métaux alcalins, sur l'écorce déjà oxydée du globe. « On ne peut douter, dit-il, dans son chef-d'œuvre, la *Théorie des phénomènes électro-dynamiques* (1826, p. 199), qu'il existe dans l'intérieur du globe des courants électro-magnétiques, et que ces courants sont la cause de la chaleur qui lui est propre. Ils naissent d'un noyau métallique central composé des métaux que sir Humphry Davy nous a

fait connaître, agissant sur la couche oxydée qui entoure le noyau.»

(68) [page 214]. La remarquable connexité qui existe entre la courbure des lignes magnétiques et celle de mes isothermes a été découverte par sir David Brewster; V. *Transactions of the Royal society of Edinburgh*, vol. IX, 1821, p. 318, et *Treatise of Magnetism*, 1837, p. 42, 44, 47 et 268. Ce célèbre physicien admet l'existence de deux *pôles de froid* (poles of maximum cold) dans l'hémisphère septentrional, l'un en Amérique, par 73° de lat. et 102° de long. ouest (près du cap Walker); et l'autre en Asie, par 73° de lat. et 78° de long. est. Il y aurait ainsi deux méridiens où régnerait la plus forte chaleur, et deux autres méridiens pour le plus grand froid. Déjà, au XVIe siècle, Acosta enseignait qu'il y avait *quatre lignes* sans déclinaison, en se fondant sur les observations d'un pilote portugais très-expérimenté (*Historia natural de las Indias*, 1589, lib. I, cap. 17). Cette opinion paraît n'avoir point été étrangère à la théorie des quatre pôles magnétiques de Halley, à en juger, du moins, par la discussion de Henry Bond (l'auteur de la *Longitude found*, 1676) avec Beckborrow. Cf. mon *Examen critique de l'hist. de la Géographie*, t. III, p. 60.

(69) [page 214]. Halley, dans les *Philosophical Transactions*, vol. XXIX (for 1714-1716), n° 341.

(70) [page 215]. Dove, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. XX, p. 341; vol. XIX, p. 388: « L'aiguille de déclinaison se comporte à peu près comme un électromètre atmosphérique dont la divergence indique également la tension croissante de l'électricité, avant que cette tension soit devenue assez forte pour donner lieu à la production d'une étincelle (éclair). » Cf. aussi les ingénieuses considérations du prof. Kæmtz, dans son *Cours de Météorologie*, vol. III, p. 511-519; Sir David Brewster, *Treatise on Magnetism*, p. 380. Sur les propriétés magnétiques d'une flamme ou d'un arc lumineux

galvanique produit par une batterie de Bunsen, zinc et charbon, v. les *Observ.* de Casselmann (Marbourg, 1841, allem.) p. 56-62.

(71) [page 216]. Argelander, dans un mémoire important sur les *Aurores boréales* qu'il a joint aux *Rapports lus à la Société de physique de Kœnigsberg*, vol. I, 1834, p. 257-264.

(72) [page 216]. Les résultats des observations que Lottin, Bravais et Siljerstrœm ont faites sur la côte de Laponie à Bosekop (lat. 70°), où ils ont vu 160 aurores boréales en 210 nuits, se trouvent dans les *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. X, p. 289, et dans la *Météorologie* de Martins, 1843, p. 453. Cf. Argelander, collection citée dans la note précédente.

(73) [page 219]. John Franklin, *Narrative of a Journey to the shores of the Polar Sea, in the years* 1819-1822, p. 552 et 597; Thieneman, dans le *Edinburgh Philos. Journal*, vol. XX, p. 366; Farquharson, même collection, vol. VI, p. 392; Wrangel, *Obs. Phys*, p. 59. Parry vit même en plein jour l'arc de l'aurore boréale sans aucune agitation; *Journal of a second Voyage, performed in* 1821-1823, p. 156. Une remarque à peu près semblable fut faite en Angleterre le 9 sept. 1827 : on distinguait, en plein midi, dans une partie du ciel qui venait de s'éclaircir à la suite d'une pluie, un arc lumineux de 20° de hauteur d'où s'élevaient des colonnes brillantes. *Journal of the royal Institution of Great Britain*, 1828, janv., p. 429.

(74) [page 219]. A mon retour d'Amérique, je décrivis, sous le nom de *bandes polaires*, une disposition qu'affectent parfois de petits flocons de nuages très-régulièrement détachés comme par l'action de forces répulsives; j'avais choisi ce nom, parce que d'ordinaire le point où ces bandes convergeaient en perspective sur le ciel, coïncidait d'abord avec le pôle magnétique, en sorte que les lignes parallèles formées par ces flocons suivaient

le méridien magnétique du lieu. Ce phénomène énigmatique présentait une autre particularité : le point de convergence paraissait s'élever et s'abaisser tour à tour ; d'autres fois il marchait régulièrement dans une même direction. Ordinairement, ces bandes ne se forment entièrement que dans une partie du ciel ; d'abord elles affectent la direction du nord au sud ; puis, à mesure qu'elles marchent, elles changent peu à peu de direction et finissent par prendre celle de l'est à l'ouest. Il ne me paraît pas possible d'expliquer les mouvements de ces zones par des variations qui surviendraient dans les courants des régions supérieures de l'atmosphère. Ces bandes se montrent dans le calme le plus complet, lorsque le ciel est parfaitement pur, et sont bien plus fréquentes sous les tropiques que dans les zones froides ou tempérées. J'ai remarqué ce phénomène sur la chaîne des Andes, presque sous l'équateur, à 4550 m. d'élévation, ainsi qu'en Asie, dans les plaines de Krasnojarski, au sud de Buchtarminsk, et toujours il s'est développé d'une manière si frappante qu'il était impossible de n'y pas voir l'action de forces naturelles très-générales et très-répandues. Voy. les importantes remarques de Kæmtz (*Leçons de Météréologie*, 1840, p. 146) et les réflexions plus récentes de Martins et de Bravais (*Météréologie*, 1843, p. 117). Arago a remarqué, à Paris, le 23 juin 1844, des bandes polaires australes, formées de nuages extrêmement légers, et des rayons *sombres* qui paraissaient sortir d'un arc dirigé de l'est à l'ouest. Nous avons signalé plus haut (p. 217), dans les aurores boréales nocturnes, des rayons *noirs*, semblables à une fumée épaisse.

(75) [page 220]. Aux îles Shetland, l'aurore boréale porte le nom de *the merry dancers*. Kendal, dans le *Quarterly Journal of Science*, new series, vol. IV, p. 395.

(76) [page 220]. Voyez l'excellent travail de Munck, dans la nouvelle édition du *Dictionnaire de physique* de Gehler, vol. VII, I, p. 113-268, et surtout p. 158.

(77) [page 221]. Farquharson, dans le *Edinb. Philos. Journal*, vol. XVI, p. 304; *Philos. Transact. for* 1829, p. 113.

(78) [page 223]. Kæmtz, *Météorologie*, vol. III, p. 498 et 501.

(79) [page 225]. Arago, sur les brouillards secs de 1783 et de 1831, qui paraissaient lumineux pendant la nuit, dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1832, p. 246 et 250; et sur la lumière singulière émise par certains nuages non orageux, voy. *Notice sur le Tonnerre*, dans l'*Annuaire pour l'an* 1838, p. 279-285.

(80) [page 228]. Hérod., IV, 28. Les anciens assuraient que l'Égypte n'était point sujette aux tremblements de terre (Plin., II, 88); mais cette assertion est contredite par la nécessité où l'on fut de restaurer le colosse de Memnon (Letronne, *la Statue vocale de Memnon*, 1833, p. 25-26); du moins on peut dire que la vallée du Nil est située en dehors du cercle d'ébranlement de Byzance, de l'Archipel et de la Syrie (Ideler, *ad Aristot. Meteor.*, p. 584).

(81) [page 229]. Saint-Martin, dans les savantes notes qu'il a jointes à l'*Histoire du Bas-Empire*, de Lebeau, t. IV, p. 401.

(82) [page 229]. Humboldt, *Asie Centrale*, t. II, p. 118. Sur la différence entre l'ébranlement de la surface et celui des couches inférieures, voy. Gay-Lussac, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, p. 429.

(83) [page 230]. « Tutissimum est cum vibrat crispante ædificiorum crepitu; et cum intumescit assurgens alternoque motu residet, innoxium et cum concurrentia tecta contrario ictu arietant; quoniam alter motus alteri renititur. Undantis inclinatio et fluctus more quædam volutio infesta est, aut cum in unam partem totus se motus impellit. » Plin., II, 82.

(84) [page 234]. On commence à reconnaître, même en Italie, combien peu les tremblements de terre dépendent des phénomènes météorologiques, et de l'aspect du ciel avant les secousses. Les données numériques de Frédéric Hoffmann s'accordent très-bien avec les expériences de l'abbé Scina, de Palerme; voy. les *OEuvres posthumes* du premier, volume II, p. 366-375. J'ai remarqué moi-même, à diverses reprises, qu'un brouillard rougeâtre se montrait peu de temps avant les secousses; et le 4 novembre 1799, j'ai éprouvé deux violentes secousses au moment où un fort coup de tonnerre se faisait entendre (*Relat. hist.*, liv. IV, ch. X). Un physicien de Turin, Vasalli Eandi, a vu l'électromètre de Volta fortement agité pendant les longs tremblements de terre qui durèrent, à Pignerol, du 2 avril au 17 mai 1808 (*Journal de Phys.*, t. LXVII, p. 291). Mais les brouillards, les variations brusques de l'électricité atmosphérique et le calme de l'air ne se rattachent pas nécessairement aux tremblements de terre; on aurait tort de leur attribuer, en général, une signification quelconque; car on a observé partout, à Quito, au Pérou, au Chili, aussi bien qu'au Canada et en Italie, que les tremblements de terre avaient lieu également par un ciel serein, complétement pur de nuages, et par une brise fraîche de terre ou de mer. Mais, tout en reconnaissant que les tremblements de terre ne sont ni précédés, ni annoncés par aucun signe météorologique, même pendant le jour où ils doivent se faire sentir, il ne faudrait pas cependant rejeter avec dédain certaines croyances populaires qui attribuent de l'influence aux saisons (les équinoxes d'automne et de printemps), aux débuts de la saison des pluies, sous les tropiques, après une longue sécheresse, enfin au retour des moussons; il ne faudrait pas, dis-je, les désigner, en se fondant sur notre ignorance actuelle des rapports qui peuvent exister entre les phénomènes météorologistes et les phénomènes souterrains. Des recherches numériques ont été faites avec un zèle extrême par M. de Hoff, Peter Merian et Frédéric Hoffmann, dans le but d'établir le mode de distribution des tremblements de terre

pour les différentes saisons de l'année : ces recherches s'accordent à indiquer un maximum vers l'époque des équinoxes. — Il est singulier que Pline ait appelé les tremblements de terre : un *orage souterrain*; il est plus curieux encore de voir quelles raisons il en donne, à la fin de sa fantastique théorie. Pour lui, la ressemblance n'est pas seulement dans le fracas qui accompagne souvent ce phénomène redoutable; ce qui le frappe surtout, c'est que les forces élastiques, dont la tension croissante finit par ébranler le sol, s'amassent dans les entrailles de la terre, alors qu'elles font défaut dans l'atmosphère. « Ventos in causa esse non dubium reor. Neque enim unquam intremiscunt terræ, nisi sopito mari cœloque adeo tranquillo, ut volatus avium non pendeant, subtracto omni spiritu qui vehit; nec unquam nisi post ventos conditos, scilicet in venas et cavernas ejus occulto afflatu. Neque aliud est in terra tremor, quam in nube tonitruum; nec hiatus aliud quam cum fulmen erumpit, incluso spiritu luctante et ad libertatem exire nitente. » (Plin., II, 79). Au reste, on retrouve dans Sénèque (*Nat. Quæst.*, II, 4-31), le germe assez développé de tout ce qui a été dit et imaginé, jusque dans ces derniers temps, sur les causes des tremblements de terre.

(85) [page 231]. J'ai montré, dans la *Rel. hist.*, t. I, p. 311 et 513, que la marche des variations horaires du baromètre n'est nullement troublée, soit avant, soit après un tremblement de terre.

(86) [page 231]. Humboldt, *Rel. hist.*, t. I, p. 515-517.

(87) [page 234]. Voy. sur les *Bramidos* de Guanaxuato, mon *Essai politiq. sur la Nouv.-Espagne*, t. I, p. 303. Ce fracas souterrain ne fut accompagné d'aucune secousse, dans les mines profondes, ni à la surface (la ville de Guanaxuato est située à 1955 mètres au-dessus de la mer); on ne l'entendit point sur le plateau voisin, mais seulement dans la partie montueuse de la Sierra, depuis Cuesta de los Aguilares, non loin de Marfil, jus-

qu'au nord de Santa-Rosa. Les ondes sonores ne parvinrent pas dans certaines régions isolées de la Sierra, situées à 4 ou 5 myriamètres au N.-O. de Guanaxuato, près de la source d'eau bouillante de San-José de Comangillas. On imaginera difficilement à quels excès d'autorité les magistrats de ce grand centre d'industrie métallurgique crurent devoir recourir, lorsque la terreur causée par le *tonnerre souterrain* était à son comble. « Toute famille qui prendra la fuite sera punie d'une amende de 1000 piastres, si elle est riche, et de deux mois de prison, si elle est pauvre. Le milice a ordre de poursuivre et de ramener les fuyards. » Ce qu'il y a de plus curieux dans cette histoire singulière, c'est la confiance affectée par l'autorité (*el Cabildo*); voici ce que j'ai lu dans une des *Proclamas* : « L'autorité saura bien reconnaître, dans sa sagesse (*en su sabiduria*), le moment où le danger sera imminent; alors elle pourra songer à la fuite; pour le présent, il suffit que les processions soient continuées. » La famine survint; car la peur des *truenos* empêcha les habitants des hautes terres d'apporter leurs grains à la ville. — Les anciens connaissaient aussi les bruits souterrains sans secousses : Aristot., *Meteor.*, II, p. 802, Plin., II, 80. Le bruit singulier qui se fit entendre, de mars 1822 jusqu'en septembre 1824, dans l'île dalmate de Medela (à 3 myriam. de Raguse), bruit dont Partsch a donné une explication satisfaisante, a été parfois accompagné de secousses.

(88) [page 236]. Drake, *Nat. and Statist. View of Cincinnati*, p. 232-238; Mitchell, dans les *Transactions of the Lit. and Philos. soc. of New-York*, vol. I, p. 281-308. Dans le comté piémontais de Pignerol, des vases remplis d'eau jusqu'aux bords restaient en mouvement pendant des heures entières.

(89) [page 238]. On dit en espagnol : *rocas que hacen puente.* Ces interruptions toutes locales des ébranlements transmis par les couches *supérieures* ont peut-être quelque analogie avec un phénomène remarquable qui s'est présenté, au commencement de ce siècle, dans les mines de Saxe : de fortes secousses

se firent sentir avec tant de violence dans les mines d'argent de Marienberg, que les ouvriers effrayés se hâtèrent de remonter; sur le sol même, on n'avait éprouvé aucune secousse. Voici maintenant un phénomène inverse : en novembre 1823, les mineurs de Falun et de Persberg n'éprouvaient aucune secousse au moment même où, au-dessus de leurs têtes, un violent tremblement de terre jetait l'effroi parmi les habitants de la surface.

(90) [page 238]. Sir Alex. Burnes, *Travels into Bokhara*, vol. I, p. 18; et Wathen, *Mem. on the Usbek State*, dans le *Journal of the Asiatic Soc. of Bengal*, vol. III, p. 337.

(91) [page 239]. *Philos. Transact.*, vol. XLIX, p. 414.

(92) [page 241]. V. sur la fréquence des tremblements de terre dans le Cachemir, la traduction de l'ancien *Radjatarangini*, par Troyer, vol. II, p. 297, et les *Voyages* de Carl de Hügel, vol. II, p. 184, allem.

(93) [page 242]. Strabon, lib. I, p. 100, Casaub. La preuve que l'expression πηλοῦ διαπύρον ποταμὸν ne signifie point de la boue (éruption de boue), mais bien de la lave, résulte clairement d'un passage du même auteur, Strabon, lib. VI, p. 412. Cf. Walter, *Sur la diminution de l'activité des Volcans depuis les temps historiques*, 1844, p. 25, allem.

(94) [page 245]. Sur les puits de feu artésiens (*Ho-tsing*) en Chine, et sur l'emploi du gaz transporté à l'aide de tuyaux de bambou dans la ville de Khioung-Tcheou, voy. Klaproth, dans mon *Asie centrale*, t. II, p. 519-530.

(95) [page 245]. V. l'excellent ouvrage de Bischof : *Théorie de la chaleur interne du Globe.*

(96) [page 245]. Boussingault (*Annales de Chimie*, t. LII, p. 181) n'a point remarqué d'acide hydrochlorique dans les émissions gazeuses des volcans de la Nouvelle-Grenade, tandis

que Monticelli en a trouvé d'énormes quantités dans les produits de l'éruption du Vésuve, en 1813.

(97) [page 245]. Humboldt, *Recueil d'Observ. astronomiques*, t. I, p. 311 (*Nivellement barométrique de la Cordillère des Andes*, n° 206).

(98) [page 246]. Adolphe Brongniart, dans les *Annales des Sciences naturelles*, t. XV, p. 225.

(99) [page 247]. Bischof, ouvrage cité, p. 324, Rem. 2.

(100) [page 247]. Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 43.

(1) [page 248]. Sur la théorie des lignes isogéothermes (*chthonisothermes*), voy. les ingénieux travaux de Kupffer, dans les *Annales* de Poggend., vol. XV, p. 184, et vol. XXXII, p. 270; dans le *Voyage dans l'Oural*, p. 382-398; et dans le *Edinb. Journal of Sciences*, new series, vol. IV, p. 355. Cf. Kæmtz, *Leçons de Météorologie*, vol. II, p. 217, et sur l'exhaussement des chthonisothermes dans les pays de montagnes, Bischof, p. 174-198.

(2) [page 248]. Léopold de Buch, dans les *Ann.* de Poggend., vol. XII, p. 405.

(3) [page 248]. La température des gouttes de pluie était descendue à 22°,3, lorsque la température de l'air était de 30 à 31° quelques instants auparavant; pendant la pluie même, la température atmosphérique était 23°,4; voy. ma *Rel. hist.*, t. II, p. 22. La température *initiale* des gouttes de pluie dépend de la hauteur de la couche nuageuse et du degré d'échauffement que les rayons solaires ont communiqué à la face supérieure de cette couche; mais cette température change pendant la chute. Lorsque les gouttes de pluie commencent à se former, leur température est supérieure à celle du milieu environnant, à cause du calorique latent qui devient libre; puis, en tombant, elles traversent des couches d'air plus basses et plus chaudes, où

elles s'échauffent et grossissent encore un peu, en condensant la vapeur d'eau contenue dans ces couches (Bischof, *Théorie de la Chaleur interne du Globe*, p. 73) ; mais cet échauffement est compensé par la perte de chaleur qu'entraîne l'évaporation des gouttes elles-mêmes. Si l'on met hors de cause l'électricité atmosphérique dont les effets se font probablement sentir pendant les pluies d'orage, on peut attribuer le refroidissement de l'atmosphère, pendant la pluie, d'abord à la température initiale plus faible, que les gouttes ont acquise dans les hautes régions, puis à l'air froid des couches supérieures qu'elles entraînent avec elles ; enfin à l'évaporation qui s'établit sur le sol humecté. Telle est, en effet, la marche ordinaire du phénomène. Mais, dans certains cas rares, les gouttes de pluie sont plus chaudes que l'air voisin du sol (Humboldt, *Rel. hist.*, t. III, p. 513), ce qui tient peut-être à la présence de courants d'air chaud dans les hautes régions, ou à la température élevée que l'*insolation* peut développer dans des couches de nuages très-étendues et peu épaisses. Ajoutons qu'Arago a montré, dans l'*Annuaire* pour 1836, p. 300, comment la grandeur et l'accroissement du volume des gouttes de pluie se rattachent au phénomène des *arcs supplémentaires* de l'arc-en-ciel, qui ont été expliqués au moyen d'interférences des rayons lumineux : cette savante discussion fait voir tout le parti qu'on peut tirer d'un phénomène optique convenablement observé, pour éclaircir les questions les plus ardues de la météorologie.

(4) [page 248]. Après les observations décisives de Boussingault, il n'est plus permis de douter que la température du sol, à une faible profondeur, ne soit égale à la température moyenne de l'atmosphère, sous les tropiques. Je me permettrai de citer ici les exemples suivants :

STATIONS dans LA ZONE TROPICALE.	1 PIED (0m,32) au-dessous de la surface de la terre.	TEMPÉRATURE moyenne de l'atmosphère.	HAUTEURS au-dessus du niveau de la mer.
Guayaquil.	26°,0	25°,6	0
Anserma nuevo.	23°,7	23°,8	1050 m.
Zupia.	21°,5	21°,5	1225
Popayan.	18°,2	18°,7	1807
Quito.	15°,5	15°,5	2915

Le doute que mes propres observations, dans la caverne de Caripe (*Cueva del Guacharo*), ont pu faire naître à ce sujet (*Rel. hist.*, t. III, p. 191-196), disparaît devant la remarque suivante : j'ai comparé la température moyenne présumée de l'air du couvent de Caripe (18°, 5), non pas à la température de l'air dans la caverne (18°, 7), mais à celle du ruisseau souterrain (16°, 8) ; toutefois, j'avais déjà reconnu moi-même (*Rel. hist.*, t. III, p. 146 et 194) qu'il était fort possible que des eaux provenant des hautes montagnes vinssent se mêler aux eaux de la caverne.

(5) [page 250]. Boussingault, dans les *Annales de Chimie*, t. LII, p. 181. La température de la source de Chaudes-Aigues, en Auvergne, ne dépasse pas 80°. Il est aussi à remarquer que toutes les sources situées sur les versants de certains volcans encore actifs (le Pasto, le Cotopaxi, le Tunguragua) n'ont pas une température de plus de 36° à 54°, tandis que les *Aguas calientes de las Trincheras* (au sud de Porto-Cabello) sortent, d'un granit divisé en assises régulières, avec une température de 97°.

(6) [page 251]. La Cassotis (Fontaine de Saint-Nicolas) et la source de Castalie (au pied des Phédriades), sont décrites dans Pausanias, X, 24, 5 et X, 8, 9 ; le Pirène (Acrocorinthe), dans

Strabon, p. 379; la source d'Erasinos (sur le Chaon, au sud d'Argos); dans Hérodote, VI, 67, et dans Pausanias, II, 24, 7; les thermes d'Ædepse (en Eubée), dont la température est pour les uns de 31°, et pour d'autres de 62° à 75°, dans Strabon, p. 60, 447, et dans Athénée, II, 3, 73; les sources des Thermopyles, situées au pied de l'Œta, et dont la chaleur est de 65°; dans Pausan., X, 21, 2. (Extrait des notes manuscrites de M. le professeur Curtius, le savant compagnon de voyage d'Otfried Müller.)

(7) [page 251]. Plin., II, 106; Sénèque, *Epist.*, 79, § 3, ed. Ruhkopf); (Beaufort, *Survey of the Coast of Karamania*, 1820, art. Yanar, près de Deliktasch, l'ancienne Phasélis, p. 24). Cf. aussi Ctesias, *Fragm.*, cap. 10, p. 250, ed. Bæhr; Strabon, lib. XIV, p. 665, Casaub.

(8) [page 251]. Arago, dans l'*Annuaire* pour 1835, p. 234.

(9) [page 251]. *Acta S. Patricii*, p. 555, ed. Ruinart, t. II, p. 385, Mazochi. Dureau de la Malle est le premier qui ait signalé ce passage remarquable, dans ses *Recherches sur la Topographie de Carthage*, 1835, p. 276. (Cf. Sénèque, *Nat. Quæst.*, III, 24.)

(10) [page 254]. Humboldt, *Rel. hist.*, t. III, p. 562-567; *Asie Centrale*, t. I, p. 43, t. II, p. 505-515; *Vues des Cordillères*, Pl. XLI. Sur le Macalubi (de l'arabe *makhlub*, renversé, racine: *khalaba*), et sur «la terre fluide vomie par la Terre,» voy. Solinus, cap. 5: «Idem ager Agrigentinus eructat limosas scaturigines, et ut venæ fontium sufficiunt rivis subministrandis, ita in hac Siciliæ parte, solo nunquam deficiente, æterna rejectatione terram terra evomit.»

(11) [page 256]. Voy. l'excellente petite carte de l'île Nisyros, dans Ross, *Voyage dans les îles de la Grèce*, vol. II, 1843, p. 69, allem.

(12) [page 257]. Léopold de Buch, *Description physique des*

îles Canaries, p. 326; même auteur, *Sur les cratères de soulèvement et les volcans*, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. XXXVI, p. 169. Déjà Strabon distingue très-bien deux modes de formation des îles, dans le passage où il parle de la séparation de la Sicile et de la Calabre : « Quelques îles, dit-il (lib. VI, p. 258, ed. Casaub.), sont des fragments détachés de la terre ferme ; d'autres ont été soulevées du fond même de la mer, ainsi qu'on le voit encore aujourd'hui. Les îles de la haute mer (les îles situées loin des continents) ont été probablement formées ainsi par le soulèvement d'une partie du sol sous-marin ; tandis que les îles placées en avant des promontoires semblent avoir été séparées de la terre ferme. »

(13) [page 257]. *Ocre Fisove* (Mons Vesuvius), dans l'ancienne langue Ombrique (Lassen, *Explication des Tables Eugubiniques*, dans le *Rhein. Museum*, 1832, p. 387, allem.) ; le mot *ocre* signifie montagne, d'après le témoignage de Festus lui-même. D'après Voss, *Ætna* signifierait *montagne brûlante* ou *montagne brillante* ; mais Voss croit le mot Αἴτνη d'origine grecque, et il le rattache à αἴθω ou à αἴθινος ; or, le savant Parthey a contesté cette origine hellénique, d'abord par des motifs purement étymologiques, ensuite parce que l'Etna n'a jamais été, pour les navigateurs grecs, un phare lumineux, comme cet infatigable Stromboli qu'Homère semble désigner dans l'*Odyssée* (XII, 68, 202 et 219), mais sans en fixer bien nettement la position. A mon avis, ce serait plutôt dans la langue des anciens Sicules qu'il faudrait chercher l'origine du mot Etna, si toutefois on parvenait jamais à recueillir quelques débris importants de cette langue. D'après Diodore (V, 6), les *Sicani*, c'est-à-dire les aborigènes siciliens qui habitaient la Sicile avant les *Siculi*, furent obligés de se confiner dans la partie occidentale de l'île, pour fuir des éruptions de l'Etna qui durèrent plusieurs années. La plus ancienne éruption historique de ce volcan est celle dont Pindare et Eschyle ont fait mention ; elle eut lieu sous Hiéron, dans la 2e année de la 75e olympiade.

Selon toute vraisemblance, Hésiode connaissait les éruptions dévastatrices de l'Etna avant l'établissement des colonies grecques ; cependant, il reste encore quelques doutes sur le mot Αἴτνη qui se trouve dans le texte d'Hésiode. (Humboldt, *Examen crit. de la Géogr.*, t. I, p. 168.)

(14) [page 257]. Sénèque, *Epist.*, 79.

(15) [page 257]. Elien, *Var. hist.*, VIII, 11.

(16) [page 260]. Petri Bembi *Opuscula* (Ætna Dialogus), Basil., 1556, p. 63 : « Quicquid in Ætnæ matris utero coalescit, nunquam exire ex cratere superiore, quod vel eo inscendere gravis materia non queat, vel, quia inferius alia spiramenta sunt, non fit opus. Despumant flammis urgentibus ignei rivi pigro fluxu totas delambentes plagas, et in lapidem indurescunt. »

(17) [page 261]. Voy. mon dessin du volcan de Jorullo, de ses *Hornitos* et du Malpays soulevé dans les *Vues des Cordillères*, pl. XLIII, p. 239.

(18) [page 261]. Humboldt, *Essai sur la Géogr. des Plantes et Tableau phys. des Régions équinoxiales*, 1807, p. 130, et *Essai géogn. sur le Gisement des Roches*, p. 321. Il suffit de considérer la plus grande partie des volcans javanais, pour s'assurer que la forme, la position et la hauteur absolue d'un volcan ne suffisent pas à rendre compte de l'absence totale de courants de lave, pendant une période d'activité non interrompue (Léopold de Buch, *Description phys. des îles Canaries*, p. 419; Reinwardt et Hoffmann, dans les *Ann.* de Pogg., vol. XII, p. 607).

(19) [page 264]. Voy. la comparaison de mes mesures avec celles de Saussure et du comte Minto, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences de Berlin*, 1822 et 1823, p. 30.

(20) [page 265]. Pimelodes Cyclopum. Voy. Humboldt, *Re-*

cueil d'Observations de Zoologie et d'Anatomie comparée, t. I, p. 21-25.

(21) [page 267]. Léopold de Buch, dans les *Annales* de Pogg., vol. XXXVII, p. 179.

(22) [page 268]. Sur la formation du fer spéculaire dans les masses volcaniques, voy. Mitscherlich, dans les *Ann.* de Pogg., vol. XV, p. 630. Sur le dégâgement de gaz acide hydrochlorique dans les cratères, voy. Gay-Lussac dans les *Annales de Chimie et de Phys.*, t. XXII, p. 423.

(23) [page 270]. V. les belles recherches de Bischof sur le refroidissement des masses pierreuses dans la *Théorie de la Chaleur*, p. 384, 443, 500-512.

(24) [page 270]. Voy. Berzélius et Wœhler dans les *Ann.* de Poggend., vol. I, p. 221, et vol. XI, p. 146; Gay-Lussac, dans les *Annales de Chimie*, t. XXII, p. 422; Bischof, *Reasons against the Chemical theory of Volcanoes*, dans l'édition anglaise de sa *Théorie de la Chaleur*, p. 297-309.

(25) [page 272]. D'après les idées géognostiques de Platon, telles que le Phédon nous les présente, le Pyriphlégéthon jouerait, par rapport à l'activité volcanique, le même rôle à peu près que la chaleur interne de la terre et l'état de fusion des couches profondes, dans nos idées actuelles (*Phædon*, éd. Ast., p. 603 et 607; Annot., p. 808 et 817). « Il règne, dans l'intérieur de la terre et tout autour d'elle, des conduits souterrains de toute grandeur. L'eau y coule en abondance; mais il y coule aussi du feu et des courants formés d'une vase liquide plus ou moins impure, semblables aux torrents de boue qui précèdent, en Sicile, l'éruption des torrents de feu et qui recouvrent, comme ces derniers, tous les lieux situés sur leur passage. Le Pyriphlégéthon se déverse dans un espace immense rempli d'un feu ardent et actif, et là, il forme un lac plus grand que notre mer, un lac où l'eau et la vase sont constamment en ébul-

lition. Il sort ensuite de ce lac et il roule ses eaux troubles et fangeuses, en décrivant un cercle autour de la terre. » Ce fleuve de terre fondue et de vase est si bien la source *générale* des phénomènes volcaniques, que Platon ajoute expressément : « Tel est le Pyriphlégéthon, dont quelques petites parties s'échappent vers le haut et forment les torrents de feu (οἱ ῥύακες) qui apparaissent en quelque lieu que ce soit sur la terre (ὅπῃ ἂν τυχῶσι τῆς γῆς). » Ces scories volcaniques et les coulées de lave sont donc des parties du Pyriphlégéthon lui-même, ou de la masse en fusion, sans cesse en mouvement dans les entrailles de la terre. Que cette expression οἱ ῥύακες signifie : *courants de lave*, et non point : *montagnes ignivomes*, comme le veulent Schneider, Passow et Schleiermacher, c'est ce qui résulte clairement d'une foule de passages déjà rassemblés en partie par Ukert, dans sa *Géogr. des Grecs et des Romains*, Pl. II, 1, p. 200. Ῥύαξ est le phénomène volcanique pris du côté le plus saillant, le courant de lave; de là vient l'expression les ῥύακες de l'Etna. Cf. Aristot., *Mirab. Ausc.*, t. II. p. 833, sect. XXXVIII Bekker; Thucyd., III, 116; Theophr., *de Lap.*, 22, p. 427 Schneider; Diod., V, 6, et XIV, 59, dans lequel on lit ces mots remarquables : « Plusieurs villes situées près de la mer et non loin de l'Etna ont été ensevelies ὑπὸ τοῦ καλουμένου ῥύακος ; » Strabo, VI, p. 269, XIII, p. 628, et sur les célèbres vases brûlantes des plaines de Lélante, en Eubée, I, p. 58, Casaub.; enfin Appian., *de Bello civili*, 114. Le blâme déversé par Aristote (*Meteor.*, II, 2, 19) sur les fantaisies géognostiques du Phédon ne porte, à proprement parler, que sur l'origine des fleuves qui coulent à la surface de la terre. On a dû remarquer, dans le passage de Platon cité plus haut, une assertion singulière, mais très-précise; à savoir qu'en Sicile, des éruptions de vase précèdent les courants ignés. Faut-il, pour expliquer ce passage, admettre que des rapillis et des cendres, rejetés du cratère, pendant un orage vulcano-électrique, et détrempés par la pluie ou la neige fondue, ont pu passer pour des boues expulsées avant l'éruption? ou bien ces courants de vase humide

(ὑγροῦ πηλοῦ ποταμοὶ) n'étaient-ils, pour Platon, qu'une simple réminiscence des salses d'Agrigente (volcans de boue), qui vomissent la boue avec fracas et dont il a été question dans la note (10), p. 525. Cette incertitude nous fait regretter qu'un écrit de Théophraste, « sur le courant volcanique en Sicile » (περὶ τοῦ ῥύακος ἐν Σικελίᾳ), ait partagé le sort des nombreux écrits du même auteur, et ne soit pas parvenu jusqu'à nous. Ce livre est cité par Diog. Laërce, V, 39.

(26) [page 273]. Léopold de Buch, *Descript. phys. des îles Canaries*, p. 326-407. Je doute que l'on puisse considérer, avec C. Darwin (*Geolog. Observ. on the Volcanic Islands*, 1844, p. 127), les volcans centraux comme formant, en général, des chaînes volcaniques peu étendues et disposées sur des failles parallèles. Déjà Frédéric Hoffmann, en étudiant le groupe des îles de Lipari, où il a reconnu les traces de deux fissures d'éruption qui se croisent à Panaria, avait cru trouver, dans ce groupe, une sorte d'intermédiaire entre les volcans centraux et les chaînes volcaniques de Léopold de Buch. (*Annales de Phys.*, de Poggend., vol. XXVI, p. 81-80).

(27) [page 274]. Humboldt, *Obs. géogn. sur les volcans du plateau de Quito*, *Ann.* de Pogg., vol. XLIV, p. 194.

(28) [page 274]. Après avoir parlé d'une manière très-remarquable de l'affaissement problématique de l'Etna, Sénèque dit dans sa 79e épître : « Potest hoc accidere, non quia montis altitudo desedit, sed quia ignis evanuit et minus vehemens ac largus effertur : ob eamdem causam, fumo quoque per diem segniore. Neutrum autem incredibile est, nec montem qui devoretur quotidie minui, nec ignem non manere eumdem; quia non ipse ex se est, sed in aliqua inferna valle conceptus exæstuat et alibi pascitur : in ipso monte non alimentum habet, sed viam. » (Ed. Ruhkopfiana, t. III, p. 32). Strabon reconnaît parfaitement qu'il doit exister une communication souterraine

entre les volcans de Sicile, ceux de Lipari, de Pithécuse (Ischia) et le Vésuve (lib. I, p. 247 et 248). Il ajoute que la contrée entière est placée sur un foyer souterrain.

(29) [page 275]. Humboldt, *Essai polit. sur la Nouvelle-Espagne*, t. II, p. 173-175.

(30) [page 276]. Voici les vers d'Ovide (*Métamorph.* XV, 296-306) :

Est prope Pittheam tumulus Trœzena sine ullis
Arduus arboribus, quondam planissima campi
Area, nunc tumulus : nam (res horrenda relatu!)
Vis fera ventorum, cæcis inclusa cavernis,
Exspirare aliqua cupiens, luctataque frustra
Liberiore frui cœlo, cum carcere rima
Nulla foret, toto nec pervia flatibus esset,
Extentam tumefecit humum ; ceu spiritus oris
Tendere vesicam solet, aut direpta bicorni
Terga capro. Tumor ille loci permansit, et alti
Collis habet speciem, longoque induruit ævo.

Cette description d'un soulèvement en forme de cloche a un véritable intérêt au point de vue géognostique ; en outre, elle s'accorde parfaitement avec un passage d'Aristote relatif au soulèvement d'une île d'éruption (*Meteor.*, II, 8, 17-19) : « La terre ne cesse de trembler tant que le vent (ἄνεμος), cause de l'ébranlement du sol, ne trouve pas d'issue à travers la terre. C'est ce qui est arrivé dernièrement à Héraclée, dans le Pont, et plus anciennement à Hiéra, l'une des îles d'Éole. Dans celle-ci, une partie du sol se gonfla et s'éleva avec fracas, sous forme de monticule, jusqu'à ce que le souffle puissant (πνεῦμα) eût trouvé une issue ; alors il lança au dehors des étincelles et des cendres, qui couvrirent la ville voisine des Lipariens et atteignirent même plusieurs villes d'Italie. » Cette description distingue parfaitement la période du soulèvement, de l'éruption elle-même. Strabon a aussi décrit le phénomène de Méthone (lib. I, p. 59, Casaub.) : « Une éruption

de flammes eut lieu près de Trézène ; un volcan surgit jusqu'à la hauteur de sept stades (?). Le jour, il était inaccessible à cause de sa forte chaleur et de son odeur de soufre ; mais la nuit, il exhalait une bonne odeur (?). Il s'en dégageait tant de chaleur, que la mer bouillait sur une étendue de cinq stades ; à vingt stades de là, elle était trouble et encombrée de blocs de rochers rejetés par le volcan. » Sur la constitution minéralogique actuelle de la presqu'île de Méthana, voyez Fiedler, *Voyage en Grèce*, Pl. I, p. 257, allem.

(31) [page 276]. Léop. de Buch, *Descript. phys. des îles Canaries*, p. 356-358, et surtout la traduction française de cet excellent ouvrage, p. 402 ; voyez aussi le même auteur, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. XXXVII, p. 183. Dans ces derniers temps, une île sous-marine s'est formée de nouveau dans le cratère de Santorin ; elle était, en 1810, à 15 brasses au-dessus du niveau de la mer, et en 1830, elle n'en n'était plus éloignée que de 3 ou 4 brasses. Cette île est escarpée ; on dirait un énorme cylindre qui s'élève du fond de la mer. L'activité continue du cratère sous-marin se révèle encore par un dégagement de vapeurs acides de soufre qui se mêlent aux eaux de la mer, dans la baie orientale de la Néo-Kammeni, comme à Vromolimni, près de Méthana. Les navires doublés en cuivre vont souvent jeter l'ancre dans cette baie, afin d'en mettre à profit les propriétés naturelles, ou plutôt volcaniques, pour nettoyer leur cuivre et le rendre brillant. (Viret, dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, t. III, p. 109, et Fiedler, *Voyage en Grèce*, Pl. II, p. 469 et 584).

(32) [page 276]. Apparitions de l'île nouvelle près de l'île San-Miguel, une des Açores : 11 juin 1638 ; 31 décembre 1719 ; 13 juin 1811.

(33) [page 276]. Prévost, dans le *Bulletin de la Société*

géologique, t. II, p. 34; Frédéric Hoffmann, *OEuvres posthumes*, vol. II, p. 451-456.

(34) [page 277]. « Accedunt vicini et perpetui Ætnæ montis ignes et insularum Æolidum, veluti ipsis undis alatur incendium; neque enim aliter durare tot seculis tantus ignis potuisset, nisi humoris nutrimentis aleretur. » (Justin., *Hist. Philipp.*, IV, 1.) Justin commence la description physique de la Sicile par une théorie volcanique fort compliquée. Des lits de soufre et de résine situés à une grande profondeur; un sol très-mince, rempli de cavités, sujet à se fendiller; une agitation extrême produite par les flots de la mer, lesquels en battant le rivage, entraînent l'air avec eux et le forcent à pénétrer jusqu'au foyer qu'il alimente : telles sont les données que Justin met en œuvre dans sa théorie, copiée par Trogue-Pompée. Au reste, en imaginant que l'air pouvait être forcé de pénétrer dans les entrailles de la terre pour y alimenter les foyers volcaniques, les Anciens avaient en vue l'influence qu'ils attribuaient à certains vents sur l'activité volcanique de l'Etna, de Hiera et de Stromboli. (Voy. un passage remarquable de Strabon, lib. VI, p. 275 et 276.) L'île de Stromboli (Strongyle) passait pour la demeure d'Eole, « le régulateur des vents », parce que les navigateurs prévoyaient les changements de temps, d'après le degré de violence des éruptions du volcan de Stromboli. Les mêmes phénomènes se reproduisent encore de nos jours (Léopold de Buch, *Descr. phys. des îles Canaries*, p. 334; Hoffmann, dans les *Annales* de Pogg., vol. XXVI, p. 8); on a reconnu que les éruptions de ce petit volcan dépendent à la fois de la hauteur du baromètre et de la direction des vents; mais il faut avouer que nous sommes bien éloignés de pouvoir en donner une explication satisfaisante, dans l'état actuel de nos connaissances sur les phénomènes volcaniques et sur les faibles variations que les vents produisent dans la pression atmosphérique. — Bembo, dont l'éducation avait été confiée à des Grecs réfugiés en

Sicile, a raconté ses excursions sur l'Etna dans un livre écrit avec tout le charme et toute l'ardeur de la jeunesse (*Ætna Dialogus,* vers le milieu du XVIe siècle); il y développe la théorie de l'introduction des eaux de la mer dans les foyers des volcans, et il cherche à prouver que le voisinage de la mer est une condition nécessaire de la production des phénomènes volcaniques. Voici les questions qu'il agite en gravissant l'Etna : « Explana potius nobis quæ petimus, ea incendia unde oriantur et orta quomodo perdurent? — In omni tellure nuspiam majores fistulæ aut meatus ampliores sunt quam in locis, quæ vel mari vicina sunt vel a mari protinus alluuntur : mare erodit illa facillime pergitque in viscera terræ. Itaque cum in aliena regna sibi viam faciat, ventis etiam facit; ex quo fit ut loca quæque maritima maxime terræ motibus subjecta sint, parum mediterranea. Habes quum in sulfuris venas venti furentes inciderint, unde incendia oriantur Ætnæ tuæ. Vides, quæ mare in radicibus habeat, quæ sulfurea sit, quæ cavernosa, quæ a mari aliquando perforata ventos admiserit æstuantes, per quos idonea flammæ materies incenderetur.

(35) [page 277]. Cf. Gay-Lussac, *Sur les Volcans*, dans les *Annales de Chimie*, t. XXII, p. 427; et Bischof, *Théorie de la Chaleur*, p. 272. Les éruptions de fumée et de vapeurs d'eau que l'on a vues, à différentes époques, autour de Lancerote, de l'Islande, et des Kouriles, pendant l'éruption des volcans voisins, autorisent à croire à la réaction des foyers volcaniques contre la pression hydrostatique des eaux voisines; et même, ces éruptions gazeuses prouvent que l'élasticité des vapeurs qui se développent dans ces foyers peut devenir bien supérieure à cette pression.

(36) [page 279]. Abel Rémusat, *Lettre à M. Cordier*, dans les *Annales des Mines*, t. V, p. 137.

(37) [page 279]. Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 30-33, 38-52, 70-80 et 426-428. L'existence de volcans actifs dans le

Kordofan, à 100 myriamètres de la mer Rouge, a été niée récemment par Rüppel. *Voyage en Nubie*, 1829, p. 151, allem.)

(38) [page 280]. Dufrénoy et Élie de Beaumont, *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I, p. 89.

(39) [page 280]. Sophocle, *Philoct.*, v. 971 et 972. Sur l'époque présumée de l'extinction des *feux de Lemnos*, vers le temps d'Alexandre, Cf. Buttmann, dans le *Muséum archéologique*, vol. I, 1807, p. 295; Dureau de la Malle, dans les *Annales des Voyages* de Malte-Brun, t. IX, 1809, p. 5; Ukert, dans les *Ephém. géogr.* de Bertuch, vol. XXXIX, 1812, p. 361; Rhode, *Res Lemnicæ*, 1829, p. 8; et Walter, *Sur la décroissance de l'activité volcanique*, *depuis les temps historiques*, 1844, p. 24. On a supposé que le cratère éteint du Mosychlos a été englouti par la mer, à une époque reculée, ainsi que l'île déserte de Chryse, antique demeure de Philoctète (Otfried Müller, *les Minyens*, p. 300, allem.); la carte hydrographique de l'île de Lemnos, exécutée par Choiseul, donne beaucoup de vraisemblance à cette opinion; les récifs et les écueils situés au N.-E. de Lemnos indiquent encore la place où la mer Égée possédait autrefois un volcan actif semblable à l'Etna, au Vésuve, au Stromboli et au Volcano des îles Lipari.

(40) [page 281]. Cf. Reinwardt et Hoffmann, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. XII, p. 607; Léop. de Buch, *Descr. des îles Canaries*, p. 424, 426. L'éruption des boues argileuses du Carguairazo, en 1698, lors de la démolition du volcan; les *Lodazales* d'Igualata, et la *Moya* de Pelileo, sont des phénomènes volcaniques du même genre (sur le plateau de Quito.)

(41) [page 283]. Dans un profil des environs de Tezcuco, de Totonilco et de Moran (*Atlas géogr. et phys.*, pl. VII), que je destinais originairement (1803) à un ouvrage inédit (*Pasigrafia geognostica destinada al uso de los Jovenes del Colegio de*

Mineria de Mexico), j'ai désigné plus tard (1832) les roches d'éruption plutoniques et volcaniques, sous le nom d'*endogènes* (engendrées dans l'intérieur), et les roches de sédiment sous le nom d'*exogènes* (engendrées extérieurement sur l'écorce terrestre). Dans le système graphique que j'avais adopté, les premières étaient indiquées par une flèche dirigée vers le haut, et les secondes, par une flèche tournée vers le bas. Cette méthode a du moins l'avantage de ne point défigurer les profils, où il s'agit ordinairement de représenter des séries de couches sédimentaires disposées horizontalement les unes au-dessus des autres ; dans un grand nombre de profils plus récents, les éruptions et les pénétrations de basalte, de porphyre ou de syénite, sont figurées par des veines ascendantes, d'une manière tout à fait arbitraire et peu conforme à la nature. Les dénominations que j'ai proposées dans le profil pasigraphico-géognostique, avaient été formées d'après celles de De Candolle (*endogènes* pour les plantes monocotylées, *exogènes* pour les dicotylées) ; mais Mohl a prouvé, par une analyse plus exacte du règne végétal, qu'en thèse générale et rigoureuse, la croissance des monocotylées ne s'opère pas du dedans au dehors, ni celle des dicotylées, de dehors en dedans (Link, *Elementa philosophiæ Botanicæ*, t. I, 1837, p. 287 ; Endlicher et Unger, *Éléments de Botanique*, 1843, p. 89, allem. ; et Jussieu, *Traité de Botanique*, t. I, p. 85). Ce que je nomme *endogène*, Lyell le désigne par l'expression caractéristique de *netherformed* ou *hypogene rocks* (*Principles of Geology*, 1833, vol. III, p. 374).

(42) [page 283]. Cf. Léop. de Buch, *Sur la dolomie considérée comme roche*, 1823, p. 36 ; et le même auteur, sur le degré de fluidité qui doit être attribué aux roches plutoniques, à l'époque de leur éruption, ainsi que sur la transformation du schiste en gneiss, par l'action du granit et des matières qui ont accompagné le soulèvement de cette roche, *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1842, p. 58 et 63 ; et *Annuaire de la Critique scientifique*, 1840, p. 195, allem.

(43) [page 285]. Darwin, *Volcanic Islands*, 1844, p. 49 et 154.

(44) [page 285]. Moreau de Jonnès, *Hist. phys. des Antilles*, t. I, p. 136, 138 et 543; Humboldt, *Relation historique*, t. III, p. 367.

(45) [page 285]. Près de Teguiza; Léop. de Buch, *Iles Canaries*, p. 301.

(46) [page 285]. V. plus haut, p. 7.

(47) [page 286]. Bernhard Cotta, *Géognosie*, 1839, p. 273.

(48) [page 286]. Léop. de Buch, *sur le granit et le gneiss*, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1842, p. 60.

(49) [page 286]. Le granit qui s'élève, près du lac Kolivan, sous forme de murailles divisées en étroites assises parallèles, contient fort peu de cristaux de titanite; le feldspath et l'albite y prédominent; Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 295; Gustave Rose, *Voyage dans l'Oural*, vol. I, p. 524.

(50) [page 286]. Humboldt, *Relation historique*, t. II, p. 99.

(51) [page 287]. Voyez dans l'ouvrage cité de Rose, vol. I, p. 584, le plan du Biri-Taou que j'ai dessiné du côté du sud, où se trouvaient les tentes Kirghises. — Sur le granit sphéroïdal qui se divise en écailles concentriques, Cf. Humboldt, *Rel. hist.*, t. II, p. 597, et *Essai géogn. sur le gisement des roches*, p. 78.

(52) [page 287]. Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 299-311, et les dessins du *Voyage* de Rose, vol. I, p. 611; ces dessins reproduisent la courbure des écailles du granit, indiquée par Léop. de Buch comme trait caractéristique.

(53) [page 288]. Ce gisement remarquable a été décrit, pour la première fois, par Weiss, dans les *Archives des mines* de Karsten, vol. XVI, 1827, p. 5.

(54) [page 288]. Dufrénoy et Élie de Beaumont, *Géologie de la France*, t. I, p. 130.

(55) [page 288]. Ces lits intercalés de diorite jouent un rôle important dans le district des mines de Naila, près de Steben; mes plus doux souvenirs de jeunesse se rattachent à cette contrée, où j'ai étudié la conduite des travaux des mines, vers la fin du dernier siècle. Cf. F. Hoffmann, *Annales* de Poggendorff, vol. XVI, p. 558.

(56) [page 288]. Dans l'Oural méridional et Baschkirien; Rose, *Voyage*, vol. II, p. 171.

(57) [page 289]. G. Rose, *Voyage dans l'Oural*, vol. II, p. 47-52, sur l'identité de l'éléolithe et de la néphéline (la proportion de chaux est un peu plus forte dans ce dernier minéral; Cf. Scheerer, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. XLIX, p. 359-381).

(58) [page 293]. Voy. les belles recherches de Mitscherlich, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1822 et 1823, p. 25-41; dans les *Annales* de Pogg., vol. X, p. 137-152; vol. XI, p. 323-332; vol. XLI, p. 213-216. (Gustave Rose, *Sur la formation du spath calcaire et de l'aragonite*, *Annales* de Pogg., vol. XLII, p. 353-366; Haidinger, dans les *Transact. of the R. Society of Edinburgh*, 1827, p. 148.)

(59) [page 295]. Lyell, *Principles of Geology*, vol. III, p. 353 et 359.

(60) [page 296]. Cette description des rapports de gisement du granit met en relief le caractère fondamental et général de toute la formation. Cependant, l'aspect que le granit présente dans quelques localités autorise à croire que cette roche n'a pas toujours manqué d'une certaine fluidité au moment de l'éruption (voy. plus haut, p. 286 ; voy. aussi la description d'une partie de la chaîne de Narym, voisine des frontières de l'empire chinois ; Rose, *Voyage dans l'Oural*, vol. I, p. 599) ; on

peut en dire autant du trachyte (Dufrénoy et Elie de Beaumont, *Description géologique de la France*, t. I, p. 70). Puisque j'ai parlé plus haut, dans le texte, de fissures étroites par lesquelles les épanchements basaltiques ont eu lieu quelquefois, je mentionnerai ici les larges failles qui ont livré passage à des mélaphyres (cette dernière roche ne doit pas être confondue avec les basaltes) ; voy. dans Murchison, *Silurian System*, p. 126, l'intéressante description d'une faille de 146 m. de largeur, par laquelle le mélaphyre a été injecté dans la houillère de Cornbrook, Hoar-Edge.

(61) [page 297]. Sir James Hall, *Edinb. Transact.*, vol. V, p. 43 ; vol. VI, p. 71 ; Gregory Watt, dans les *Philos. Transactions of the Royal Society of London for* 1804, p. II, p. 279 ; Dartigues et Fleuriau de Bellevue, dans le *Journal de Phys.*, t. LX, p. 456 ; Bischof, *Théorie de la chaleur*, p. 313 et 443.

(62) [page 297]. Gustave Rose, dans les *Annales* de Pogg., vol. XLII, p. 364.

(63) [page 297]. V. sur le dimorphisme du soufre, Mitscherlich, *Cours de Chimie*, § 55-63, allem.

(64) [page 297]. Sur le gypse considéré comme cristal à un seul axe, sur le sulfate magnésien et les oxydes de zinc et de nickel, voy. Mitscherlich, dans les *Annales* de Pogg., vol. XI, p. 328.

(65) [page 298]. Voy. les recherches faites par Coste, au Creusot, sur la transformation du fer laminé en fer cassant à froid, dans les *Mém. Géol.* d'Élie de Beaumont, t. II, p. 411.

(66) [page 298]. Mitscherlich, *Sur la dilatation des Cristaux*, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. X, p. 151.

(67) [page 298]. Sur les doubles joints de stratification, Cf. Élie de Beaumont, *Géologie de la France*, p. 41 ; Credner,

Géognosie de la Thuringe et du Harz, p. 40, allem.; Rœmer, *Terrains de transition des provinces Rhénanes*, 1844, p. 5 et 9, allem.

(68) [page 298]. La silice n'est pas simplement colorée par l'oxyde de fer; elle est encore accompagnée d'argile, de chaux et de potasse; Rose, *Voyage*, vol. II, p. 187. Sur la formation du jaspe par l'action du porphyre dioritique, de l'augite et de l'hypersthenfels, v. Rose, vol. II, p. 169, 187 et 192. Cf. aussi, vol. I, p. 427, où l'on voit le dessin des globes de porphyre entre lesquels le jaspe se présente aussi, dans la grauwacke calcaire de Bogoslowsk, comme un produit de l'action plutonique de l'augite, vol. II, p. 545, et Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 486.

(69) [page 299]. A propos de l'origine volcanique du mica, il est important de rappeler que les cristaux de mica se trouvent : dans le basalte du Mittelgebirge bohémien; dans la lave rejetée par le Vésuve, en 1822 (Monticelli, *Storia del Vesuvio, negli anni* 1821 *e* 1822, § 99); dans les fragments de schiste argileux enveloppés de basalte scoriacé qu'on trouve sur le Hohenfels, non loin de Gérolstein, dans l'Eifel (v. Mitscherlich, dans les *Formations basaltiques* de Leonhard, p. 244). Sur le feldspath produit dans le schiste argileux par le contact du porphyre, entre Urval et Poïet (Forez), v. Dufrénoy, *Géol. de la France*, t. I, p. 137. C'est à un contact de ce genre qu'il faut attribuer la singulière structure amygdaloïde et cellulaire des schistes que j'ai rencontrés à Paimpol, en Bretagne (t. I, p. 234), dans une excursion géologique entreprise de concert avec M. le professeur Kunth.

(70) [page 299]. Rose, *Voyage dans l'Oural*, vol. I, p. 586-588.

(71) [page 299]. Léopold de Buch, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1842, p. 63, et dans l'*Annuaire pour la critique scientifique*, 1840, p. 196, allem.

(72) [page 299]. Élie de Beaumont, dans les *Annales des Sciences naturelles*, t. XV, p. 362-372 : « En se rapprochant des masses primitives du mont Rose et des montagnes situées à l'ouest de Coni, on voit les couches secondaires perdre de plus en plus les caractères inhérents à leur mode de dépôt. Souvent alors elles en prennent qui semblent provenir d'une toute autre cause, sans perdre pour cela leur stratification, rappelant par cette disposition la structure physique d'un tison à moitié charbonné, dans lequel on peut suivre les traces des fibres ligneuses, bien au delà des points qui présentent encore les caractères naturels du bois. » (Cf. les *Annales des Sciences naturelles*, t. XIV, p. 118-122, et M. de Déchen, *Géognosie*, p. 553). Parmi les preuves les plus frappantes de la métamorphose des roches sous l'influence plutonique, il faut compter les bélemnites du schiste de Nuffenen (vallée alpestre d'Egine et glacier de Gries), et celles que M. de Charpentier a trouvées dans le calcaire prétendu primitif, sur le flanc occidental du Col de Seigne (entre l'Enclove de Montjovet et la hutte alpine de La Lanchette), et qu'il m'a montrées à Bex, dans l'automne de 1822 (*Annales de Chimie*, t. XXIII, p. 262).

(73) [page 299]. Hoffmann, *Annales* de Pogg., vol. XVI, p. 552 : « Les strates de schiste argileux de transition qu'on peut suivre, dans le Fichtelgebirge, sur une étendue de trois myriamètres, ont été transformées en gneiss aux deux bouts seulement par lesquels ces couches se trouvent en contact avec le granit. Là, on voit comment le gneiss s'est formé peu à peu, comment le mica et les amygdaloïdes feldspathiques se sont développées dans la masse intérieure du schiste, qui contient déjà lui-même presque tous les éléments de ces minéraux. »

(74) [page 300]. Parmi les œuvres d'art que nous a léguées l'antiquité grecque ou romaine, on ne trouve ni colonnes, ni grands vases de jaspe ; aujourd'hui même, les monts Ourals sont seuls en possession de fournir les pièces de jaspe de grandes dimensions. La matière qu'on exploite dans l'Altaï (*Revennaja*

Sopka) sous le nom de jaspe, provient d'un magnifique porphyre *rubané*. Le mot lui-même se retrouve dans les langues sémitiques ; il a été appliqué aussi à des fragments de *jaspachat* et à une opale jaspoïde connue des anciens, sous le nom de *jasponyx* : c'est là du moins ce qui paraît résulter de la description fort embrouillée qu'on lit dans Théophraste (*de Lap.*, 23 et 27); et dans Pline (XXXVII, 8 et 9) : ce dernier range le jaspe au nombre des gemmes opaques. Cette matière était si peu commune chez les anciens, qu'en parlant d'un morceau de jaspe de onze pouces de longueur, Pline croit devoir affirmer qu'il a vu lui-même cette rareté : « Magnitudinem jaspidis undecim unciarum vidimus, formatamque indè effigiem Neronis thoracatam. » D'après Théophraste, la pierre nommée *smaragd*, ou émeraude, dont on a taillé de grands obélisques, ne serait qu'un jaspe *non rubané*.

(75) [page 300]. Humboldt, *Lettre à M. Brochant de Villiers*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, p. 261; Léop. de Buch, *Lettres géogn. sur le Tyrol méridional*, p. 101, 105 et 273.

(76) [page 300]. Sur la transformation du calcaire compact en calcaire granulaire, par le granit, dans les Pyrénées (Montagne de Rancie), v. Dufrénoy, dans les *Mémoires géologiques*, t. II, p. 440; et dans les montagnes de l'Oisans, Élie de Beaumont, *Mém. géol.*, t. II, p. 379-415; par le porphyre dioritique et pyroxénique (*ophyte*; Élie de Beaumont, *Géol. de la France*, t. I, p. 72), entre Tolosa et Saint-Sébastien, v. Dufrénoy, dans les *Mém. géol.*, t. II, p. 130; dans l'île de Skye, où le calcaire, métamorphosé par la syénite, présente encore des traces visibles de pétrifications, v. M. de Dechen, *Géognosie*, p. 573. Dans la métamorphose de la craie en contact avec le basalte, les molécules ont dû subir un déplacement très-remarquable, pour donner lieu à la structure cristalline ou grenue de la roche actuelle; car, avant la transformation, ces molécules formaient une infinité de petits anneaux séparés, ainsi qu'Eh-

renberg s'en est assuré par des recherches microscopiques sur le roche primitive. V. les *Annales de Physique* de Poggendorff, vol. XXXIX, p. 105, et sur les anneaux formés par des précipités d'aragonite, v. Gustave Rose, même collection, vol. XLII, p. 354.

(77) [page 301]. Lits de calcaire granulaire dans le granit, au port d'Oo et à Mont de Labourd. Charpentier, *Constitution géologique des Pyrénées*, p. 144-146.

(78) [page 301]. Léop. de Buch, *Descr. des Canaries*, p. 394; Fiedler, *Voyage en Grèce*, pl. II, p. 181, 190 et 516.

(79) [page 301]. J'ai déjà fait allusion, dans un autre endroit, à ce passage remarquable d'Origène : *Philosophumena*, cap. 14 (*Opera* ed. Delarue, t. I, p. 893). Tout porte à croire que Xénophane n'a pas voulu parler d'une empreinte de *laurier* (τύπον δάφνης), mais bien d'une empreinte de *poisson* (τύπον ἀφύης); Delarue blâme à tort Jacob Gronovius d'avoir préféré la seconde version et d'avoir substitué le mot *sardine* au mot *laurier*. En tout cas, la découverte d'un poisson fossile est plus vraisemblable que celle d'une image de Silène (Plin. XXXVI, 5), trouvée, dit-on, par des ouvriers, dans les carrières de Paros (marbres du mont Marpessos, Servius, *ad Virg. Æn.*, VI, 471).

(80) [page 302]. Sur la constitution géologique des environs de Carare (*ville de la Lune*, Strabo, lib. V, p. 222), Cf. Savi, *Osservazioni sui terreni antichi Toscani*, dans le *Nuovo Giornale de' Letterati di Pisa*, n° 63, et Hoffmann, dans les *Archives de Minéralogie* de Karsten, vol. VI, p. 258-263, et dans le *Voyage géogn. en Italie*, du même auteur, p. 244-265, allem.

(81) [page 302]. Cette hypothèse a été émise par un observateur distingué, Karls de Leonhard ; v. son *Annuaire miné-*

ralogique, 1834, p. 329, et Bernhard Cotta, *Géognosie*, p. 310.

(82) [page 303]. Léop. de Buch, *Lettres géogn. à A. de Humboldt*, 1824, p. 36 et 82; le même, *Annales de Chimie*, t. XXIII, p. 276, et dans les *Mém. de l'Académie de Berlin*, 1822 et 1823, p. 83-136; H. de Déchen, *Géognosie*, p. 574-576.

(83) [page 305]. Hoffmann, *Voyage géogn.*; revu par H. de Dechen, p. 113-119, 380-386: *Annales de Phys.* de Poggend., vol. XXVI, p. 41.

(84) [page 305]. Dufrénoy, dans les *Mém. géologiques*, t. II, p. 145 et 179.

(85) [page 305]. Humboldt, *Essai géogn. sur le Gisement des Roches*, p. 93; *Asie Centrale*, t. III, p. 532.

(86) [page 305]. Élie de Beaumont, *Annales des Sciences naturelles*, t. XV, p. 362; Murchison, *Silurian System*, p. 286.

(87) [page 306]. Rose, *Voyage dans l'Oural*, vol. I, p. 364 et 367.

(88) [page 306]. Léop. de Buch, *Lettres*, p. 109-129. Cf. Élie de Beaumont, sur le contact du granit avec les couches du Jura, dans les *Mém. géol.*, t. II, p. 408.

(89) page 306]. Hoffmann, *Voyage*, p. 30 et 37.

(90) [page 307]. Sur la formation du fer spéculaire et sur les réactions chimiques qui la déterminent, v. Gay-Lussac, dans les *Annales de Chimie*, t. XXII, p. 415, et Mitscherlich, dans les *Annales* de Poggend., t. XV, p. 630. Les cavités de l'obsidienne de Cerro del Jacal, que j'ai rapportée du Mexique; contiennent aussi des cristaux d'olivine formés sans doute par voie de sublimation (Gustave Rose, *Annales* de Pogg., t. X, p. 323). Ainsi l'olivine se présente dans le basalte, la lave, l'obsidienne,

les scories artificielles, les pierres météoriques, la syénite d'Elfdalen, et sous le nom d'hyalosidérite, dans la wacke de Kaiserstuhle.

(91) [page 307]. Constantin de Beust, *Sur les Formations porphyritiques*, 1835, p. 89-96, allem. C. de Weissenbach, *Dessins de plusieurs genres remarquables de pénétration*, 1836, fig. 12. Mais la structure en forme de bandes étroites n'est pas générale; de même l'ordre dans lequel les divers membres de ces masses se succèdent n'indique pas nécessairement leur âge relatif; v. Freiesleben, *Sur les Filons métallifères de la Saxe*, 1843, p. 10-12, allem.

(92) [page 308]. Mitscherlich, *Sur la reproduction artificielle des Minéraux*, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1822 et 1823, p. 25-41.

(93) [page 308]. Les scories ont offert : des cristaux de feldspath, découverts par Heine, dans un fourneau de fonte pour le minerai de cuivre, près de Sangerhausen, et analysés par Kersten (*Annales* de Pogg., vol. XXXIII, p. 337); des cristaux d'augite, dans les scories de Sahle (Mitscherlich, *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1822 et 1823, p. 40); des cristaux d'olivine (Sefstrœm, dans l'ouvrage de Léonhard, *Formations basaltiques*, vol. II, p. 495); du mica, dans les vieilles scories de Garpenberg (Mitscherlich, dans l'ouvrage cité de Léonhard, p. 506); des cristaux d'oxyde magnétique de fer, dans les scories de Châtillon-sur-Seine (Léonhard, p. 441); du fer spéculaire produit dans de l'argile à poteries (Mitscherlich, dans Léonhard, p. 234).

(94) [page 308]. Les minéraux que l'on a réussi à reproduire de toutes pièces, sont : l'idocrase et le grenat (Mitscherlich, *Annales* de Poggend., vol. XXXIII, p. 340), le rubis (Gaudin, *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. IV, P. I, p. 999), l'olivine et l'augite (Mitscherlich et Berthier, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIV, p. 376). Quoique l'au-

gite et la hornblende présentent, d'après G. Rose, la plus grande similitude dans la forme de leurs cristaux, et qu'elles aient presque la même composition chimique, cependant la hornblende ne s'est jamais rencontrée dans les scories, à côté de l'augite, et les chimistes n'ont encore pu reproduire ni la hornblende, ni le feldspath (Mitscherlich, *Annales* de Pogg., vol. XXXIII, p. 340; et Rose, *Voyage dans l'Oural*, vol. II, p. 358 et 363). Cf. aussi Beudant, *Mém. de l'Acad. des Sciences*, t. VIII, p. 221, et les recherches ingénieuses de Becquerel, dans son *Traité de l'Électricité*, t. I, p. 334; t. III, p. 218; t. V, 1, p. 148 et 185.

(95) [page 308]. D'Aubuisson, *Journal de Physique*, t. XLVIII, p. 128.

(96) [page 310]. Léop. de Buch, *Lettres géogn.*, p. 75-82; on voit en même temps, dans ce passage, pourquoi le grès rouge (le *todtliegende* des couches de flœtz de la Thuringe) et le terrain houiller doivent être considérés comme produits par l'éruption des roches porphyritiques.

(97) [page 313]. C'est une découverte de miss Mary Anning, qui a trouvé aussi les coprolithes des poissons. Ces coprolithes et ceux des ichthyosaures sont si nombreux en Angleterre (par exemple, à Lyme Regis), que Buckland les compare à des pommes de terre répandues en abondance sur le sol. Ch. Buckland, *Geology considered with reference to Natural Theology*, vol. I, p. 188-202 et 305. Sur l'espoir manifesté par Hooke « to raise a chronology » de l'étude des coquilles fossiles, « and to state the intervals of the time wherein such or such catastrophes and mutations have happened, » voy. *Posth. Works*, *Lecture Feb.* 29, 1688.

(98) [page 313]. Léop. de Buch, *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1837, p. 64.

(99) [page 314]. Le même, *Roches et terrains de la Russie*, 1840, p. 24-40.

(100) [page 315]. Agassiz, *Monographie des Poissons fossiles du vieux grès rouge*, p. VI et 4.

(1) [page 315]. Léop. de Buch, *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1838, p. 149-168; Beyrich, *Documents relatifs au terrain de transition des Provinces Rhénanes*, 1837, p. 45, allem.

(2) [page 315]. Agassiz, *Recherches sur les Poissons fossiles*, t. I, Introd. p. XVIII (Davy, *Consolations in Travel*, dial. III).

(3) [page 315]. D'après Hermann de Mayer, ce serait un *Protosaurus*. La côte d'un saurien trouvée, dit-on, dans le calcaire de montagne (calcaire carbonifère) du Northumberland (Herm. de Mayer, *Palæologica*, p. 299), est très-douteuse, selon Lyell (*Geology*, 1832, vol. I, p. 148). L'auteur de la découverte en fixe lui-même la place dans les couches d'alluvion qui recouvrent le calcaire de montagne.

(4) [page 316]. F. d'Alberti, *Monographie du Bunter Sandstein, du Muschelkalk et du Keuper*, 1834, p. 119 et 314.

(5) [page 316]. Voyez les ingénieuses considérations de H. de Mayer, sur l'organisation des sauriens volants, dans les *Palæologica*, p. 228-252. C'est à Solenhofen, dans le schiste lithographique de la formation jurassique supérieure, que l'on a trouvé le *Pterodactylus crassirostris*, ainsi que le *P. longirostris* (*Ornithocephalus*, Sœmmering) plus anciennement connu. Le professeur Goldfuss a même trouvé, sur un exemplaire fossile de la première espèce, des traces de l'aile membraneuse et l'empreinte de plusieurs mèches de poils recourbés, ayant, çà et là, quelques centimètres de longueur.

(6) [page 317]. Cuvier, *Recherches sur les Ossements fossiles*, t. I, p. LII-LVII. (Cf. l'*Échelle des époques géologiques* dans Phillips, *Geology*, 1837, p. 166-185).

(7) [page 318]. Agassiz, *Poissons fossiles*, t. I, p. XXX, et t. III, p. 1-52; Buckland, *Geology*, vol. I, p. 273-277.

(8) [page 318]. Ehrenberg, sur les espèces animales encore vivantes qu'on a trouvées, à l'état fossile, dans la formation crétacée, *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1839, p. 164.

(9) [page 318]. Valenciennes, *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. VII, 1838, P. 2, p. 580.

(10) [page 318]. Dans le Weald-Clay, Beudant, *Géologie*, p. 173. Le nombre des ornitholithes augmente dans le gypse de la formation tertiaire (Cuvier, *Ossements fossiles*, t. III, p. 302-328).

(11) [page 319]. Léop. de Buch, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1830, p. 135-187.

(12) [page 319]. Quenstedt, *Terrains de flœtz du Wurtemberg*, 1843, p. 135.

(13) [page 320]. Le même, p. 13.

(14) [page 320]. Murchison fait deux divisions du *bunter sandstein*; l'une est le *trias supérieur* d'Alberti; l'autre division comprend le *trias inférieur*, auquel appartient le grès vosgien d'Élie de Beaumont; le zechstein (calcaire magnésien) et le todtliegende (nouveau grès rouge inférieur) forment le *système permien*. Il fait commencer les *formations secondaires* au trias supérieur, c'est-à-dire à la division supérieure du bunter sandstein allemand; le système permien, le calcaire carbonifère ou calcaire de montagne, les strates devoniennes et siluriennes constituent les *terrains paléozoïques* de Murchison. Dans ce système, la craie et le calcaire du Jura portent le nom de formations secondaires supérieures; et le keuper, le calcaire coquillier, le grès bigarré, portent celui de formations secondaires inférieures; le système permien et le calcaire carbonifère composent la formation paléozoïque supérieure, tandis que les couches devoniennes et siluriennes sont, ensemble, désignées

sous le nom de formation paléozoïque inférieure. Les bases de cette classification générale sont développées dans le grand ouvrage où l'infatigable savant anglais doit exposer la géologie d'une grande partie de l'Europe orientale.

(15) [page 321]. Cuvier, *Ossements fossiles*, 1831, t. I, p. 157, 261 et 264. (Cf. Humboldt, *Sur le plateau de Bogota*, dans la *Revue trimestrielle allemande*, 1839, vol. I, p. 117.

(16) [page 321]. *Journal of the Asiatic Society*, 1844, n° 15, p. 109.

(17) [page 322]. Beyrich, dans les *Archives pour la Minéralogie*, de Karsten, 1844, vol. XVIII, p. 218.

(18) [page 322]. Par les excellents travaux du comte Sternberg, d'Adolphe Brongniart, de Gœppert et de Lindley.

(19) [page 323]. Voy. Robert Brown, *Botany of Congo*, p. 42, et d'Urville, dans le mémoire : *De la distribution des fougères sur la surface du globe terrestre*.

(20) [page 323]. Telles sont les cycadées découvertes par le comte Sternberg dans l'ancien terrain houiller de Nadnitz, en Bohême, et décrites par Corda (deux espèces de *cycadites* et le *zamites Cordai*; V. Gœppert, *Cycadées fossiles*, dans les *Travaux de la Société silésienne*, 1843, p. 33, 37, 40 et 50). On a trouvé aussi une cycadée, le *Pterophyllum gonorrachis Gœppert*, dans le terrain houiller de la Silésie supérieure.

(21) [page 323). Lindley, *Fossil Flora*, n° 15, p. 163.

(22) [page 323]. *Fossil coniferæ*, dans Buckland, *Geology*, p. 483-490. M. Witham a le grand mérite d'avoir le premier reconnu l'existence des conifères dans la végétation primitive de l'ancienne formation carbonifère. Autrefois, la plupart des troncs d'arbre que l'on rencontrait dans cette formation étaient considérés comme des palmiers. Au reste, les espèces du genre *Araucarites* ne sont point exclusivement propres aux terrains

houillers des îles Britanniques ; elles se trouvent aussi dans la Silésie supérieure.

(23) [page 323]. Adolphe Brongniart, *Prodrome d'une Histoire des Végétaux fossiles*, p. 179; Buckland, *Geology*, p. 479; Endlicher et Unger, *Éléments de Botanique*, 1843, p. 455, allem.

(24) [page 324]. « By means of Lepidodendron a better passage is established from Flowering to Flowerless plants than by either Equisetum or Cycas, or any other known genus.» Lindley et Hutton, *Fossil Flora*, vol. II, p. 53.

(25) [page 324]. Kunth, *Classification des Familles des Plantes*, dans son *Manuel de Botanique*, p. 307 et 314, allem.

(26) [page 324). Le charbon de terre ne provient point de végétaux carbonisés par le feu, mais de végétaux composés par la voie humide, sous l'influence de l'acide sulfurique. La preuve la plus frappante dont on puisse arguer en faveur de cette opinion a été donnée par Gœppert, dans les *Archives de Minéralogie* de Karsten, vol. XVIII, p. 530. Gœppert a examiné un fragment de l'arbre à ambre qui a été transformé en charbon noir, sans que l'ambre ait subi d'altération; le charbon et l'ambre s'y trouvent juxtaposés. Quant à la part qui revient aux petits végétaux, dans la formation des couches carbonifères, v. Link, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1838, p. 38.

(27) [page 325]. Voy. les excellents travaux de Chevandier, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1844, t. XVIII, P. 1, p. 285. En comparant cette couche de carbone, de 16 millimètres d'épaisseur, avec les couches de charbon de terre, il faut tenir compte de l'énorme pression à laquelle ces dernières couches sont soumises; cette pression se manifeste par la forme aplatie de presque tous les troncs d'arbres souterrains. « Les *montagnes de bois* que l'on a vues sur le rivage méridional de la Nouvelle-Sibérie, île découverte en 1806,

par Sirowatskoi, consistent, d'après Hedenstrœm, en une série de couches de grès horizontales, alternant, sur une hauteur d'environ 60 m., avec des troncs d'arbres bitumineux. Au sommet de la montagne, ces troncs sont disposés verticalement. La couche, remplie de bois flotté, est visible sur une étendue de 5 myriamètres. » Voy. Wrangel, *Voyage sur la côte septentrionale de la Sibérie, pendant les années* 1820-1824, P. I, p. 102.

(28) [page 326]. Cette *corypha* est la soyate (en aztèque, *Zoyatl*) ou le *Palma dulce* des indigènes; voy. Humboldt et Bonpland, *Synopsis Plant. æquinoct. Orbis Novi*, t. I, p. 302. Un homme profondément versé dans les langues de l'Amérique, le professeur Buschmann, fait remarquer que le *Palma soyate* est désigné sous ce nom dans le *Vocabulario de la lengua Othomi* de Yepes, et que le mot aztèque *Zoyatl* (Molina, *Vocabulario en lengua mexicana y castellana*), se retrouve dans les noms de lieu tels que Zoyatitlan et Zoyapanco, dans l'État de Chiapa.

(29) [page 326]. A Baracoa et à Cayos de Moa; v. le journal de l'Amiral, à la date du 25 et du 27 novembre 1492, et Humboldt, *Examen critique de l'Hist. de la Géogr. du Nouveau-Continent*, t. II, p. 252, et t. III, p. 23. Colomb accordait une attention si soutenue à tous les faits naturels, qu'il reconnut, le premier, la différence du *Podocarpus* au *Pinus*. Je trouve, dit-il, « en la tierra aspera del Cibao pinos que no llevan piñas, pero por tal orden compuestos por naturaleza, que (los frutos) parecen azeytunas del Axarafe de Sevilla. » Le grand botaniste Richard ne soupçonnait guère, en publiant son excellent traité sur les Cycadées et les conifères, que bien avant L'Héritier, le Podocarpus avait déjà été distingué des Abiétinées, par un navigateur du XVe siècle.

(30) [page 327]. Charles Darwin, *Journal of the Voyages of the Adventure and Beagle*, 1839, p. 271.

(31) [page 327]. Gœppert décrit encore trois Cycadées (espèces du genre *Cycadites* et *Pterophyllum*) provenant du schiste argileux carbonifère d'Altsattel et de Commotau en Bohême; elles appartiennent peut-être à la période éocène (Gœppert, dans l'ouvrage cité à la note (20), p. 549).

(32) [page 328]. Buckland, *Geology*, p. 509.

(33) [page 329]. Léopold de Buch, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1815, p. 161, et dans les *Annales* de Poggendorff, vol. IX, p. 575; Élie de Beaumont, dans les *Annales des Sciences Nat.*, t. XIX, p. 60.

(34) [page 331]. Cf. Élie de Beaumont, *Descrip. géol. de la France*, t. I, p. 65; Beudant, *Géologie*, 1844, p. 209.

(35) [page 336]. *Transactions of the Cambridge Philos. Society*, vol. VI, P. 2, 1837, p. 297. Selon d'autres auteurs, le rapport est celui de 100 à 284.

(36) [page 337]. On croyait, dans le moyen âge, que les mers couvraient la septième partie seulement de la surface terrestre; et cette croyance, le cardinal d'Ailly la basait sur le 4ᵉ livre apocryphe d'Esdras. Christophe Colomb, qui puisait toutes ses notions cosmologiques dans l'œuvre du Cardinal, avait un grand intérêt à défendre cette opinion de la petitesse relative des mers, que l'expression mal comprise de « Fleuve de l'Océan » venait encore renforcer. Cf. Humboldt, *Examen critique de l'hist. de la Géographie*, t. I, p. 186.

(37) [page 337]. Agathémère, dans Hudson, *Geographi minores*, t. II, p. 4. Cf. Humboldt, *Asie cent.*, t. I, p. 120, 125.

(38) [page 338]. Strabo, lib. I, p. 65, Casaub. Cf. Humboldt, *Examen crit.*, t. I, p. 152.

(39) [page 339]. Voy. sur la latitude moyenne du littoral de l'Asie septentrionale, et sur la véritable dénomination du cap Taïmoura (cap Siewero-Wostotschnoi) et du cap du Nord-Est

(Schalagskoi Mys), Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 35 et 37.

(40) [page 339]. Même ouvr., t. I, p. 198-200. De même la pointe méridionale de l'Amérique, ainsi que l'archipel qui porte le nom de Terre de Feu, se trouvent sur le méridien de la partie la plus septentrionale de la baie de Baffin et de la grande terre polaire dont les limites ne sont pas encore fixées et qui appartient peut-être au Groenland occidental.

(41) [page 340]. Strabo, lib. II, p. 92 et 108, Casaub.

(42) [page 340]. Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 25. Dès 1817, j'ai montré, dans mon ouvrage *De distributione geographica plantarum secundum cœli temperiem et altitudinem montium*, de quelle importance il est, pour la climatologie et l'étude de la civilisation, de distinguer entre les continents *articulés* et les continents *compactes* : « Regiones vel per sinus lunatos in longa cornua porrectæ, angulosis littorum recessibus quasi membratim discerptæ, vel spatia patentia in immensum, quorum littora nullis incisa angulis ambit sine anfractu Oceanus » (p. 81 et 182). Sur le rapport de l'étendue des côtes à la superficie d'un continent, rapport qui permet de juger, d'une manière générale, à quel point l'intérieur est accessible, voyez les *Annales de Géogr.* de Berghaus, t. XII, 1835, p. 490, et l'*Atlas physique*, 1839, n° III, p. 69.

(43) [page 340]. Strabo, lib. II, p. 126, Casaub.

(44) [page 340]. Pline a dit en parlant de l'Afrique (V, 1) : Nec alia pars terrarum pauciores recipit sinus. La petite péninsule Transgangétique, avec sa figure triangulaire, nous offre une troisième forme très-analogue à celles de l'Afrique et de l'Amérique du Sud. L'idée d'une certaine *régularité* dans la configuration de la terre ferme a régné dans l'antiquité grecque. On croyait alors qu'il y avait quatre grands golfes, parmi lesquels le golfe Persique et la mer d'Hyrcanie (la mer Caspienne) devaient être opposés l'un à l'autre (Arrien, VII, 16; Plut., *in*

vita Alexandri, cap. 44; Dionys., *Perieg.*, v, 48 et 630, p. 11 et 38, Bernh.). Bien plus, quatre golfes se retrouvaient sur la surface de la Lune, comme un reflet des grandes formes de la surface terrestre (voy. cette fantastique conception d'Agésianax dans Plut., *de Facie in Orbe Lunæ*, p. 921, 19). Il faut lire dans Macrobe, *Comm. in Somnium Scipionis*, II, 9, la description de la *terra quadrifida* ou des quatre continents disposés deux par deux, au nord et au sud de l'équateur. J'ai soumis cette partie de l'ancienne géographie à une discussion nouvelle et approfondie. afin de la dégager de la confusion inextricable où elle avait été laissée; voy. mon *Examen crit. de l'Hist. de la Géogr.*, t. I, p. 119, 145, 180-185, et mon *Asie centrale*, t. II, p. 172-178.

(45) [page 340]. Fleurieu, dans le *Voyage de Marchand autour du monde*, t. IV, p. 38-42.

(46) [page 341]. Humboldt, dans le *Journal de Physique*, t. LIII, 1799, p. 33, et *Rel. hist.*, t. II, p. 19; t. III, p. 189 et 198.

(47) [page 341]. Humboldt, dans les *Annales de Physique* de Poggendorff, vol. XL, p. 171. Le dédale de fiords qui s'étend au sud-est de l'Amérique a été décrit par Darwin dans son *Journal* (*Narrative of the voyages of the Adventure and Beagle*, vol. III), 1839, p. 266. Le parallélisme des deux chaînes se maintient depuis le 5e degré de latitude boréale, jusqu'au 5e degré de latitude australe. Le changement de direction que la côte présente vers Arica, paraît être la conséquence d'un changement analogue dans l'immense fissure sur laquelle la *Cordillera de los Andes* a été soulevée.

(48) [page 344]. De la Bèche, *Sections and Views illustrative of Geological Phenomena*, 1830, Tab. 40; Charles Babbage, *Observations on the temple of Serapis at Pozzuoli near Naples, and on certain causes which may produce Geological Cycles of great extent*, 1834. « Si la température d'une couche

de grès, de 8000 mètres d'épaisseur, augmente de 55°, la surface de cette couche dilatée s'élèvera de 7 m. Le contraire a lieu pour des couches argileuses; leur échauffement produit une contraction, et, par suite, une dépression du sol. » Cf. les calculs que Bischof a faits sur l'exhaussement séculaire de la Suède, en supposant que la température d'une couche de 45500 m. d'épaisseur augmente de 3° Réaumur. Bischof, *Théorie de la Chaleur interne du Globe terrestre*, p. 303.

(49) [page 345]. « On a supposé jusqu'à présent que la pesanteur reste invariable en chaque point de la surface. Mais depuis que l'on a constaté un soulèvement graduel sur de grandes étendues de la surface terrestre, cette hypothèse, en apparence si bien établie, est devenue jusqu'à un certain point incertaine. » Bessel, *Sur les poids et mesures*, dans l'*Annuaire* de Schumacher pour 1840, p. 134.

(50) [page 345]. P. II (1810), p. 389. Cf. Hallstrœm, dans les *Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar* (Stockholm), 1823, p. 30; Lyell, dans les *Philos. Transact. for* 1835, p. 1; Blom, *Descr. stat. de la Norwège*, 1843, p. 89-116, allem. Dès 1802, avant la publication du voyage de Léopold de Buch en Scandinavie et après l'époque du voyage lui-même, Playfair présumait que le niveau de la mer ne s'abaissait point, mais que le sol de la Suède s'exhaussait (*Illustrations of the Huttonian Theory*, § 393); selon Keilhau (*Om Landjordens Stigning in Norge*, dans le *Nyt Magazin for Naturvidenskaberne*), Playfair, à son tour, aurait été précédé, dans cet ordre d'idées, par le Danois Jessen. Hâtons-nous d'ajouter que ces opinions n'ont exercé aucune influence sur les progrès de la physique du globe, ni sur les travaux du grand géologue allemand auquel elles restèrent entièrement inconnues. Dans un ouvrage intitulé : *Kongeriget Norge fremstillet efter dets naturlige og borgerlige Tilstand*, Kjœbenh., 1763, Jessen a cherché à approfondir les causes des variations qu'éprouve la différence de niveau de la mer et de la terre ferme, en prenant pour base

les déterminations anciennes de Celsius, de Kalm et de Dalin. Après avoir débuté par des assertions erronées sur la faculté qu'il attribue aux pierres et aux roches de croître comme par intussusception, il se prononce finalement pour une hypothèse plus rationnelle, et il rattache aux tremblements de terre, comme conséquence, l'exhaussement graduel du sol. « Quoique le tremblement de terre (à Egersund) n'ait point été suivi d'un soulèvement de ce genre, il est possible, dit Jessen, que les secousses aient préparé les voies à l'action de quelques autres causes. »

(51) [page 345]. Berzelius, *Rapport annuel sur les progrès des Sciences physiques*, n° 18, p. 686. L'île de Bornholm et celle de Saltholm, située vis-à-vis de Kopenhague, s'élèvent fort peu ; l'exhaussement est à peine d'un tiers de mètre par siècle pour Bornholm. Voy. Forchhammer, dans le *Philos. Magazine, series III*, vol. II, p. 309.

(52) [page 345]. Keilhau, dans le *Nyt Mag. for Naturvid.*, 1832, vol. I, p. 105-254; vol. II, p. 57; Bravais, *Sur les lignes d'ancien niveau de la mer*, 1843, p. 15-40. Cf. aussi Darwin, *On the Parallel roads of Glen-Roy and Lochaber*, dans les *Philos. Transact. for* 1839, p. 60.

(53) [page 347]. Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 319-324 ; t. III, p. 549-551. La dépression de la mer Rouge a été déterminée successivement par les mesures barométriques du comte Bertou, par les mesures beaucoup plus soignées de Russegger, et par les opérations trigonométriques du lieutenant de vaisseau Symond. Cette dernière mesure donna, d'après une lettre adressée par M. Alderson à la Société géographique de Londres (cette lettre m'a été communiquée par mon ami le capitaine Washington), 489 m. pour la différence de hauteur entre le niveau de la mer Morte et la plus haute maison de Jaffa. M. Alderson croyait, à cette époque (28 nov. 1841), que la mer Morte était à 427 m. au-dessous de la Méditerranée. Dans une

communication plus récente du lieutenant Symond (Jameson's *Edinb. New Philos. Journal*, vol. XXXIV, 1843, p. 178), le résultat définitif de deux mesures trigonométriques parfaitement concordantes est 400 mètres.

(54) [page 347]. *Sur la Mobilité du fond de la mer Caspienne*, dans mon *Asie centrale*, t. II, p. 283-294. En 1830, l'Académie impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg a chargé, sur ma demande, le savant physicien Lenz de poser des marques fixes sur la presqu'île d'Abschéron, près de Bakou, afin d'indiquer le niveau moyen des eaux pour une époque déterminée. De même, j'ai insisté, en 1839, dans un appendice aux instructions données au capitaine Ross pour l'expédition antarctique, sur la nécessité d'établir, comme en Suède et comme sur les rives de la mer Caspienne, des points de repère sur les rochers qui bordent la mer dans l'hémisphère Sud. Si une pareille mesure eût été prise à l'occasion des premiers voyages de Cook et de Bougainville, nous saurions aujourd'hui si le changement séculaire du niveau relatif des eaux et des terres est un phénomène général ou un fait purement local, et s'il existe une loi fixe dans la direction des points qui s'élèvent ou qui s'affaissent simultanément.

(55) [page 347]. Sur l'affaissement et l'exhaussement du fond de la mer du Sud, et les diverses « areas of alternate movements, » voy. Darwin's *Journal*, p. 557 et 561-566.

(56) [page 351]. Humboldt, *Rel. hist.*, t. III, p. 232-234. Cf. aussi d'ingénieuses remarques sur la configuration de la terre et la disposition des lignes de faîte, dans Albért de Roon, *Principes de Géographie, d'Ethnologie et de Statistique*, 1re div., 1837, p. 158, 270 et 276.

(57) [page 351]. Léopold de Buch, *Sur les Systèmes géognostiques de l'Allemagne*, dans ses *Lettres géogn. à Alexandre de Humboldt*, 1824, p. 265-271; Élie de Beaumont, *Re-*

cherches sur les révolutions de la surface du globe, 1829, p. 297-307.

(58) [page 352]. Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 277-283. Voy. aussi mon *Essai sur le gisement des Roches*, 1822, p. 57, et la *Relat. hist.*, t. III, p. 244-250.

(59) [page 352]. *Asie centrale*, t. I, p. 284-286. La mer Adriatique suit également la direction S.E.-N.O.

(60) [p. 353]. De la hauteur moyenne des continents, dans mon *Asie centrale*, t. I, p. 82-90 et 165-189. Les résultats que j'ai obtenus doivent être considérés comme des *nombres-limites*. Laplace estime à 1000 m. la hauteur moyenne des continents; ce nombre est, pour le moins, trois fois trop fort. L'immortel géomètre avait été conduit à ce résultat par certaines considérations hypothétiques sur la profondeur moyenne des mers (*Mécanique céleste*, t. V, p. 14). J'ai montré dans l'*Asie centrale*, t. I, p. 93, que déjà les mathématiciens de l'école d'Alexandrie avaient cru que cette profondeur des mers était déterminée par la hauteur des montagnes (Plut., *in Æmilio Paulo*, cap. 15). La hauteur du centre de gravité des masses continentales subit vraisemblablement de faibles variations dans le cours des siècles.

(61) [page 354]. *Deuxième Lettre géologique d'Élie de Beaumont à Alexandre de Humboldt*, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. XXV, p. 1-58.

(62) [page 355]. Humboldt, *Relat. hist.*, t. III, chap. XXIX, p. 514-530.

(63) [page 357]. Voy. la série des observations que j'ai faites dans la mer du Sud, depuis 0° 5′ jusqu'à 13° 16′ de latitude boréale, *Asie centrale*, t. III, p. 354.

(64) [page 357]. On pourra (par la température de l'Océan sous les tropiques) attaquer avec succès une question capitale

restée jusqu'ici indécise, la question de la constance des températures terrestres, sans avoir à s'inquiéter des influences locales naturellement fort circonscrites, provenant du déboisement des plaines et des montagnes, du desséchement des lacs et des marais. Chaque siècle, en léguant aux siècles futurs quelques chiffres bien faciles à obtenir, leur donnera le moyen peut-être le plus simple, le plus exact et le plus direct de décider si le soleil, aujourd'hui source première à peu près exclusive de la chaleur de notre globe, change de constitution physique et d'éclat, comme la plupart des étoiles, ou si au contraire cet astre est arrivé à un état permanent. Arago, dans les *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sciences*, t. XI, P. 2, p. 309.

(65) [page 358]. Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 321 et 327.

(66) [page 358]. Voyez les résultats numériques, même ouvrage, t. II, p. 328-333. Un nivellement géodésique que mon vieil ami, le général Bolivar, a fait exécuter sur ma prière, en 1828 et 1829, par Lloyd et Falmarc, a prouvé que le niveau de la mer du Sud est à 1 mètre tout au plus au-dessus de celui de la mer des Antilles, et même que l'une de ces deux mers est tantôt plus haute, tantôt plus basse que l'autre, selon les heures de leurs marées respectives. Or, comme le nivellement a été effectué sur une ligne de 12 myriamètres, en 993 stations et par autant de coups de niveau, on admettra facilement que l'erreur du résultat final puisse aller à 1 m., et l'on pourra considérer ce résultat comme une nouvelle preuve de l'équilibre des eaux qui communiquent vers le cap Horn (Arago, *Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1831, p. 319). J'avais déjà cru reconnaître, en 1799 et 1804, par mes observations barométriques, que, s'il existait une différence entre le niveau de la mer du Sud et celui de la mer des Antilles, cette différence ne pouvait dépasser 3 mètres. Voy. ma *Relat. hist.*, t. III, p. 555-557, et les *Annales de Chimie*, t. I, p. 55-64.

Les mesures qui paraissent établir un excès de hauteur pour les eaux du golfe du Mexique et pour celles de la partie septentrionale de la mer Adriatique (en combinant les opérations trigonométriques de Delcros et de Choppin, avec celles des ingénieurs suisses et autrichiens), ne paraissent pas mériter, sur ce point, une grande confiance. Malgré la forme de la mer Adriatique, il est invraisemblable que le niveau de la partie septentrionale soit à 8^m,4 au-dessus du niveau de la Méditerranée, à Marseille, et à 7^m,6 au-dessus de l'océan Atlantique. Voy. mon *Asie centrale*, t. II, p. 332.

(67) [page 860]. Bessel, *Sur les Marées*, dans l'*Annuaire de Schumacher* pour 1838, p. 225.

(68) [page 360]. La densité de l'eau de mer dépend à la fois de la température et du degré de salure; c'est un élément dont on ne s'est pas assez préoccupé dans la recherche des causes qui produisent les courants. Le courant sous-marin qui ramène vers l'équateur les eaux froides des contrées circumpolaires, suivrait une direction diamétralement opposée; il irait de l'équateur aux pôles, si les différences de salure étaient seules en jeu. Sous ce point de vue, *la distribution géographique* de la température et de la densité des eaux de la mer est d'une haute importance. Les observations nombreuses de Lenz (*Annales de Pogg.*, vol. XX, 1830, p. 129), et celles qui ont été recueillies pendant les voyages du capitaine Beechey (*Voyage to the Pacific*, vol. II, p. 727), méritent une attention particulière. Cf. Humboldt, *Relat. hist.*, t. I, p. 74, et *Asie centrale*, t. III, p. 356.

(69) [page 361]. Humboldt, *Relat. hist.*, t. I, p. 64; *Nouvelles Annales des Voyages*, 1839, p. 255.

(70) [page 361]. Humboldt, *Examen crit. de l'hist. de la géogr.*, t. III, p. 100. Colomb ajoute : « C'est dans la mer des Antilles que ce mouvement est le plus fort » (Navarrète, *Coleccion de los viages y descubrimientos de los Españoles*,

t. I, p. 260). Et en effet, Rennell nomme cette région « not a current, but a sea in motion. » (*Investigation of Currents*, p. 23).

(71) [page 362]. Humboldt, *Examen crit.*, t. II, p. 250. *Relat. hist.*, t. II, p. 66-74.

(72) [page 362]. Petrus Martyr de Angleria, *De Rebus Oceanicis et Orbe Novo*, Bas., 1523, Dec. III, lib. VI, p. 57. Cf. Humboldt, *Examen critique*, t. II, p. 254-257, et t. III, p. 108.

(73) [page 362]. Humboldt, *Examen critique*, t. III, p. 64-109.

(74) [page 367]. Cette voie mystérieuse lui disait :

« Maravillosamente Dios hizo sonar tu nombre en la tierra; de los atamientos de la mar Oceana, que estaban cerrados con cadenas tan fuertes, te dió las llaves. » Colomb a raconté ce songe dans sa lettre au roi d'Espagne, en date du 7 juillet 1503 (Humboldt, *Examen critique*, t. III, p. 234).

(75) [page 368]. Boussingault, *Recherches sur la composition de l'Atmosphère*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. LVII, 1834, p. 171-173. D'après Boussingault et Léwy, la proportion d'acide carbonique contenue dans l'atmosphère, à Andilly, par conséquent loin des émanations des villes, oscillerait seulement entre 0,00028 et 0,00031 en volume.

(76) [page 369]. Liebig, dans son important ouvrage : *La chimie organique dans son application à l'agriculture et à la physiologie*, 1840, p. 64-72. Sur le rôle que joue l'électricité atmosphérique dans la production du nitrate d'ammoniaque, lequel est transformé en acide carbonique par le contact avec la chaux, voy. Boussingault, *Économie rurale considérée dans ses rapports avec la Chimie et la Météorologie*, 1844, t. II, p. 247 et 697 (Cf. aussi t. I, p. 84).

(77) [page 369]. Léwy, *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. XVII, B. 2, p. 235-248.

(78) [page 369]. J. Dumas, *Annales de Chimie*, 3ᵉ série, t. III, 1841, p. 257.

(79) [page 369]. J'ai omis de mentionner, dans cette énumération, l'acide carbonique que les plantes exhalent pendant la nuit, en même temps qu'elles absorbent l'oxygène, parce que cette émission d'acide carbonique est largement compensée par l'acte de la respiration des végétaux pendant le jour. Cf. Boussingault, *Economie rurale*, t. I, p. 53-68; Liebig, *Chimie organique*, p. 16 et 21.

(80) [page 370]. Gay-Lussac, dans les *Annales de chimie*, t. LIII, p. 120; Payen, *Mémoire sur la composition chimique des végétaux*, p. 36 et 42; Liebig, *Chimie organique*, p. 299-345; Boussingault, *Économie rurale*, t. I, p. 142-153.

(81) [page 371]. En appliquant les formules que Laplace avait communiquées au Bureau des Longitudes, peu de temps avant sa mort, Bouvard a trouvé, en 1827, que la partie des variations horaires de la pression atmosphérique qui dépend de l'attraction de la lune, ne saurait augmenter, à Paris, la hauteur du mercure dans le baromètre, de plus de 0,018 de millimètre; tandis que, d'après onze années d'observations faites à Paris, l'oscillation moyenne du baromètre était de 0,756 de millimètre, de 9 heures du matin à 3 heures de l'après-midi; et de 0,373 de millimètre, de 3 heures de l'après-midi à 9 heures du matin. Voy. *Mémoires de l'Acad. des Sciences*, t. VII, 1827, p. 267.

(82) [page 672]. *Observations faites pour constater la marche des variations horaires du baromètre sous les Tropiques*, dans ma *Relation historique du Voyage aux Régions Équinoxiales*, t. III, p. 270-313.

(83) [page 373]. Bravais, dans Kæmtz et Martins, *Météo-*

rologie, p. 263. A Halle (lat. 51° 29′), l'amplitude de l'oscillation est encore de 0,631 de millimètre. Pour les montagnes des zones tempérées, la détermination précise des heures du maximum et du minimum paraît exiger une longue série d'observations; Cf. les observations de variations horaires qui ont été recueillies en 1832, 1841 et 1842, sur le sommet du Faulhorn; Martins, *Météorologie*, p. 254.

(84) [page 373]. Humboldt, *Essai sur la géographie des plantes*, 1807, p. 90. *Relat. hist.*, t. III, p. 313; et sur la diminution de la pression atmosphérique dans les régions intertropicales de l'Océan Atlantique, voy. *Annales de Physique* de Poggendorff, vol. XXXVII, p. 245-258, et p. 468-486.

(85) [page 374]. Daussy, dans les *Comptes rendus*, t. III, p. 156.

(86) [page 374]. Dove, *Sur les Tempêtes*, dans les *Annales* de Pogg., vol. LII, p. 1.

(87) [page 374]. Léopold de Buch, *Rose barométrique des vents*, dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1818-1819, p. 187.

(88) [page 375]. Dove, *Recherches météorologiques*, 1837, p. 99-343; voy. aussi les remarques ingénieuses de Kæmtz sur le courant d'ouest supérieur, qui retombe vers les latitudes élevées, et sur les phénomènes généraux de la direction des vents, dans les *Leçons sur la Météorologie*, p. 58-66, 196-200, 327-336, 353-364; Kæmtz, dans l'*Annuaire* de Schumacher pour 1838, p. 291-302. Dove a publié une exposition très-intéressante des principaux phénomènes météorologiques, dans un petit écrit : *Climat de Berlin*, 1842. La rotation des vents a été connue des anciens navigateurs (Churruca, *Viage al Magellanes*, 1793, p. 15); sur une expression remarquable de Christophe Colomb, que son fils Don Fernando Colomb nous a conservée dans la *Vida del Almirante*, cap. 55, voy. Hum-

boldt, *Examen critique de l'hist. de la Géographie*, t. IV, p. 253.

(89) [page 375]. *Monsum* (en malais, *musim*, l'hippalus des Grecs) vient de l'arabe *mausim*, époque fixée, saison, époque du rassemblement de ceux qui font le pélerinage de la Mecque. Ce mot a été appliqué à la saison des vents réguliers, lesquels tirent leur nom spécifique des contrées d'où ils soufflent; ainsi on dit le *mausim* d'Aden, le *mausim* de Guzerate, du Malabar, etc. (Lassen, *Archéologie indienne*, vol. I, 1843, p. 211, allem.), sur l'influence contraire de la *base solide* et de la *base liquide* qui portent l'atmosphère, voy. Dove, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1842, p. 239.

(90) [page 382]. Humboldt, *Recherches sur les causes des inflexions des lignes isothermes*, dans l'*Asie centrale*, t. III, p. 103-114, 118, 122, 188.

(91) [page 383]. George Forster, *Petits Écrits*, P. III, 1794, p. 87, allem.; Dove, dans l'*Annuaire* de Schumacher pour 1841, p. 289; Kæmtz, *Météorologie*, vol. II, p. 41, 43, 67 et 96; Arago, dans les *Comptes rendus*, t. I, p. 268.

(92) [page 385]. Dante, *Divina commedia*, *Purgatorio*, canto III.

(93) [page 387]. Humboldt, *Sur les lignes isothermes*, dans les *Mém. de phys. et de chimie de la Société d'Arcueil*, t. III, Paris, 1817, p. 143-165; Knight, dans les *Transact. of the horticultural Society of London*, vol. I, p. 32; Watson, *Remarks on the geographical distribution of British plants*, 1835, p. 60; Trevelyan, dans le *New Edinb. Philos. Journal* de Jameson, n° 18, p. 154; Mahlmann, dans son excellente traduction allemande de mon *Asie centrale*, P. II, p. 60.

(94) [page 388]. « Hæc de temperie aeris, qui terram late circumfundit, ac in quo, longe a solo, instrumenta nostra meteorologica suspensa habemus. Sed alia est caloris vis, quem

radii solis nullis nubibus velati, in foliis ipsis et fructibus maturescentibus, magis minusve coloratis, gignunt, quemque, ut egregia demonstrant experimenta amicissimorum Gay-Lussacii et Thenardi de combustione chlori et hydrogenis, ope thermometri metiri nequis. Etenim locis planis et montanis, vento libere spirante, circumfusi aeris temperies eadem esse potest cœlo sudo vel nebuloso; ideoque ex observationibus solis thermometricis, nullo adhibito Photometro, haud cognosces, quam ob causam Galliæ septentrionalis tractus Armoricanus et Nervicus, versus littora, cœlo temperato sed sole raro utentia; vitem fere non tolerant. Egent enim stirpes non solum caloris stimulo, sed et lucis, quæ magis intensa locis excelsis quam planis, duplici modo plantas movet, vi sua tum propria, tum calorem in superficie earum excitante. » (Humboldt, *de Distributione geographica plantarum*, 1817, p. 163-164).

(95) [page 388). Humboldt, ouv. cité, p. 156-161; Meyen, dans son *Essai sur la géographie des Plantes*, 1836, p. 379-467, allem.; Boussingault, *Économie rurale*, t. II, p. 675.

(96) [page 388). Je place ici un tableau dont l'échelle décroissante représente les diverses situations de l'industrie vinicole, en Europe, et la dépréciation de ses produits en raison des climats. Voy. mon *Asie centrale*, t. III, p. 159. Aux exemples cités dans le texte du Cosmos, pour la production du vin à Bordeaux et à Potsdam, je joins ici les données relatives aux bords du Rhin et du Mein (lat. 48° 35'—50° 7'). On voit par Cherbourg et Dublin, dont les climats paraissent différer si peu de ceux de l'intérieur de l'Europe continentale, lorsqu'on en juge par les indications d'un thermomètre suspendu à l'ombre, on voit, dis-je, que l'état habituellement serein ou nébuleux du ciel peut influer sur les productions végétales, au point de hâter ou d'arrêter la maturation.

LIEUX.	Latitude.	HAUTEUR en mètres.	Année.	Hiver.	Printemps.	Été.	Automne.	NOMBRE des années d'observation.
BORDEAUX. .	44°50'	8	13°,9	6°,1	13°,4	21°,7	14°,4	10
STRASBOURG.	48 35	146	9,8	1,2	10,0	18,1	10,0	35
HEIDELBERG.	49 24	101	9,7	1,1	10,0	17,9	9,9	20
MANHEIM. . .	49 29	92	10,3	1,5	10,4	19,5	9,8	12
WURZBOURG.	49 48	172	10,1	1,6	10,2	18,7	9,7	27
FRANCFORT sur-le-Mein.	50 7	117	9,6	0,8	10,0	18,0	9,7	19
BERLIN. . . .	52 31	31	8,6	-0,6	8,1	17,5	8,6	22
CHERBOURG (point de vin).	49 39	0	11,2	5,2	10,4	16,5	12,5	3
DUBLIN. . . .	53 23	0	9,5	4,6	8,4	15,3	9,8	13

Le grand accord que les données métérologiques des vallées du Rhin et du Mein présentent entre elles, et dans la manière dont la chaleur de l'année se trouve répartie entre les diverses saisons, prouve l'exactitude des observations sur lesquelles ces données reposent. Dans ce tableau, l'hiver comprend les mois de décembre, de janvier et de février, selon l'usage adopté, avec raison, pour tous les tableaux météorologiques. Quand on compare la qualité des vins en Franconie ou dans les pays des bords de la Baltique, avec la moyenne température des mois d'été et d'automne à Wurtzbourg et à Berlin, on est presque surpris de ne trouver que des différences de 1° à 1°2; mais celles du printemps diffèrent de 2°; l'époque de la fleuraison de la vigne pendant les gelées tardives de mai, et

après un hiver plus froid aussi de 2°, est un élément tout aussi important que peuvent l'être l'époque de la maturation tardive de la grappe et l'influence de la lumière solaire directe et non diffuse. La différence dont il est question dans le texte, entre la température vraie superficielle du sol et les données d'un thermomètre placé à l'ombre, a été étudiée par Dove, à l'aide d'observations recueillies pendant quinze ans, dans un jardin de Chiswick, près de Londres (*Rapports sur les Actes de l'Acad. de Berlin*, août 1844, p. 285).

(97) [page 389]. Cf. mon traité *Sur les causes principales de la diversité des températures à la surface du Globe*, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1827, p. 311.

(98) [page 390]. Le sol de la Sibérie compris entre Tobolsk, Tomsk et Barnaul, depuis l'Altaï jusqu'à la mer Glaciale, n'est pas aussi élevé que celui de Manheim et de Dresde; et même Irkutsk, situé à l'est du Jenisei, est $\frac{1}{3}$ plus bas que Munich; la hauteur est de 405 m.

(99) [page 392]. Humboldt, *Recueil d'Observations astronomiques*, t. I, p. 126-140; *Relation historique*, t. I, p. 119, 141 et 227; Biot, dans la *Connaissance des temps* pour l'an 1841, p. 90-109.

(100) [page 395]. Anglerius, *de Rebus Oceanicis*, dec. II, lib. II, p. 140 (ed. Col. 1574). Dans la Sierra de Santa Marta, dont les plus hautes cimes paraissent dépasser 5800 m. (Voy. ma *Relation hist.*, t. III, p. 214), un de ces hauts sommets porte encore le nom de Pico de Gaira.

(1) [page 396]. Cf. ma table des hauteurs des neiges perpétuelles dans les deux hémisphères, depuis 71° $\frac{1}{4}$ de latitude boréale, jusqu'à 53° 54' de latitude australe, dans l'*Asie centrale*, t. III, p. 360.

(2) [page 397]. Darwin, *Journal of the voyages of the Adventure and Beagle*, p. 297. Comme à cette époque le vol-

can d'Aconcagua n'était point en éruption, l'absence des neiges (ce phénomène se présente parfois sur le Cotopaxi) ne saurait être attribuée à un échauffement rapide de l'intérieur du cratère ni à l'émission de gaz fortement chauffés à travers les fissures. (Gillies, dans le *Journal of Nat. Sciences*, 1830, p. 316.)

(3) [page 398]. Voy. mon *Second Mémoire sur les Montagnes de l'Inde*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIV, p. 5-55, et *Asie centrale*, t. III, p. 281-327. Les voyageurs les plus habiles et les plus expérimentés qui aient visité l'Himalaya, Colebrooke, Webb et Hogdson, Victor Jaquemont, Forbes Noyle, Carl de Hügel et Vigne, ont tous confirmé l'excès de hauteur des neiges sur le versant thibétain ; et pourtant le fait a été mis en doute par John Gerard, le géologue Mac Clelland, éditeur du *Calcutta Journal*, et le lieutenant Thomas Hutton (Assistant Surveyor of the Agra division). L'apparition de mon ouvrage sur l'Asie centrale a ranimé ce débat. Un numéro récent d'un journal publié aux Indes (Mac Clelland and Griffith, *the Calcutta Journal of natural history*, vol. IV, 1844 January) contient une notice fort remarquable et tout à fait décisive sur les limites des neiges de l'Himalaya. M. Batten (Bengal service) écrit du camp de Semulka, sur la rivière de Cosillah, dans la province de Kumaon: « Je viens de lire avec surprise les assertions de M. Thomas Hutton sur la limite des neiges éternelles. Il est de mon devoir de contredire de pareilles assertions, surtout quand je vois M. Mac Clelland aller jusqu'à parler du service que M. Hutton vient de rendre aux sciences, en détruisant une erreur généralement répandue (*Journal of the Asiatic Society of Bengal*, vol. IX. Calcutta, 1840, p. 575, 578 et 580). On a tort d'affirmer que tout voyageur qui aura parcouru l'Himalaya, partagera les doutes de M. Hutton. Je suis un de ceux qui ont visité le plus souvent la partie occidentale de notre puissante chaîne. Je suis allé, par le Borendo-Pass, dans la vallée de Buspa et dans le bas Kanawer, et je suis revenu dans les montagnes du Gurwal, en

traversant le col élevé de Rupin. J'ai atteint les sources de la Jumma, vers Jumnotri; de là, je me suis dirigé vers les affluents du Gange de Mundakni et Wischnou-Aluknunda, vers Kadarnath et le célèbre pic neigeux de Nundidevi. Souvent j'ai traversé le Niti Pass pour atteindre le plateau thibétain. J'ai moi-même fondé l'établissement de Bhote-Mehals. La situation de ma demeure, au milieu des montagnes, m'a mis, depuis six ans, en communication habituelle avec les voyageurs européens et indigènes dont j'ai pu tirer les meilleurs renseignements sur l'aspect du pays. Tous les documents que j'ai réussi à rassembler ainsi, dans mes voyages ou par mes relations personnelles, m'ont conduit à une conviction que je suis en mesure de défendre, savoir, que, *dans l'Himalaya, la limite des neiges éternelles est plus élevée sur le versant septentrional* (*thibétain*) *que sur le versant méridional* (*indien*). M. Hutton change la question tout en croyant s'attaquer aux conclusions de M. de Humboldt sur le phénomène pris dans sa généralité; il combat une idée qu'il s'est forgée lui-même; il cherche à prouver, et nous sommes prêts à le lui accorder, que *dans certaines montagnes* de l'Himalaya, la neige a pu durer plus longtemps sur le versant du nord que sur celui du sud. » (Cf. aussi la note (5), p. 438). Si la hauteur moyenne du plateau thibétain est de 3500 mètres, il est permis de le comparer au plateau fertile de Caxamarca, dans le Pérou; mais cette évaluation même le place à 400 mètres au-dessous du plateau de Bolivia, où se trouve le lac de Titicaca, et du pavé des rues de la ville de Potosi. D'après l'évaluation que Vigne a conclue du point d'ébullition de l'eau, la hauteur de Ladak est de 3046 m. Cette hauteur est probablement aussi celle de H'Lassa (Youl-Soung), ville entièrement monastique, entourée de vignes et nommée par les écrivains chinois : *Royaume de la joie;* peut-être ces vignes sont-elles situées dans des vallons profondément découpés.

(4) [page 399]. Cf. Dove, *Comparaison météorologique de*

l'Amérique du Nord et de l'Europe, dans l'*Annuaire* de Schumacher pour 1841, p. 311, et les *Recherches météorologiques* du même auteur, p. 140.

(5) [page 400]. La quantité moyenne de pluie a été, à Paris, de 1805 à 1822, de 507 millimètres, d'après Arago; à Londres, de 1812 à 1827, de 632 millimètres; à Genève, par une moyenne de vingt-trois années d'observation, de 776 millimètres. Sur les côtes de l'Hindoustan, la quantité annuelle de pluie varie entre 2924 et 3248 millimètres; à Cuba, en 1821, il n'en tomba pas moins de 3600 millimètres. Voy. sur la distribution de la quantité de pluie, selon les saisons, dans l'Europe moyenne, les excellentes observations de Gasparin, de Schouw et de Bravais, dans la *Bibliothèque universelle*, t. XXXVIII, p. 54 et 264; *Tableau du climat de l'Italie*, p. 76, et les notes dont Martins a enrichi sa belle traduction française de Kæmtz, *Leçons de Météorologie*, p. 142.

(6) [page 400]. D'après Boussingault (*Économie rurale*, t. II, p. 693), la quantité de pluie, à Marmato (lat. 5° 27′, hauteur 1425 m., températ. moy. 20°, 4) a été, en 1833 et en 1834, de 1629 millimètres pour la moyenne des deux années, tandis qu'à Santa-Fé de Bogota (lat. 4° 36′, hauteur 2647 m., et température moy. 14°, 5), elle n'était que de 1004 millim.

(7) [page 400]. Pour le détail de cette observation, voy. mon *Asie centrale*, t. III, p. 85-89 et 567; sur l'état hygrométrique de l'atmosphère des plaines basses de l'Amérique du Sud, voy. ma *Relat. hist.*, t. I, p. 242-248; t. II, p. 45, 164.

(8) [page 401]. Kæmtz, *Leçons de Météorologie*, p. 117.

(9) [page 402]. Sur l'électricité qui provient de l'évaporation, à une température élevée, voy. Peltier, dans les *Annales de Chimie*, t. LXXV, p. 330.

(10) [page 402]. Pouillet, dans les *Annales de Chimie*, t. XXXV, p. 405.

(11) [page 402]. De la Rive, dans son excellent *Essai historique sur l'Électricité*, p. 140.

(12) [page 402]. Peltier, dans les *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XII, p. 307; Becquerel, *Traité de l'Électricité et du Magnétisme*, t. IV, p. 107.

(13) [page 402]. Duprez, *Sur l'Électricité de l'air* (Bruxelles, 1844), p. 56-61.

(14) [page 403]. Humboldt, *Relat. historique*, t. III, p. 318. Je ne parle ici que des recherches que j'ai faites avec un électromètre de Saussure armé d'un conducteur métallique long d'un mètre, recherches dans lesquelles l'électromètre ne recevait aucun mouvement, de haut en bas, ni de bas en haut, et où le conducteur n'était point armé d'une éponge imbibée d'alcool enflammé. Ceux de mes lecteurs qui sont au courant des points actuellement controversés dans la théorie de l'électricité atmosphérique, comprendront le but de cette restriction. Quant à la formation des orages sous les tropiques, voy. ma *Relat. hist.*, t. II, p. 45 et 202-209.

(15) [page 403]. Gay-Lussac, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. VIII, p. 167. Le désaccord qui règne entre les vues de Lamé, de Becquerel et de Peltier, ne permet guère de rien décider encore sur la cause de la distribution spécifique de l'électricité dans les nuages, les uns chargés d'électricité positive, les autres d'électricité négative. L'électricité négative, qui se développe dans l'air près des cascades où l'eau est incessamment réduite en poussière fine, est un phénomène extrêmement frappant; il a été découvert, en premier lieu, par Tralles, et j'ai eu souvent l'occasion de le vérifier sous des latitudes très-diverses; ses effets sont encore sensibles à 100 ou à 130 m. de distance pour un bon électromètre.

(16) [page 404]. Arago, *Annuaire du Bureau des Longitudes pour* 1838, p. 246.

(17) [page 404]. Même ouv., p. 249-266 (Cf. p. 268-279).

(18) [page 405]. Même ouv., p. 388-391. L'académicien de Bœr, qui a fait faire tant de progrès à la météorologie du nord de l'Asie, n'a point eu en vue l'excessive rareté des orages en Irlande et dans le Groënland; il dit seulement que l'on a entendu tonner quelquefois à la Nouvelle-Zemble et au Spitzberg (*Bulletin de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, 1839, mai).

(19) [page 407]. Kæmtz, dans l'*Annuaire* de Schumacher pour 1838, p. 285. (Sur la comparaison des lois de la distribution de la chaleur à l'est et à l'ouest, en Europe et dans l'Amérique du Nord, voy. Dove, *Répertoire de physique*, vol. III, p. 392-395, allem.

(20) [page 409]. L'*Histoire des Plantes*, qui a été esquissée avec talent par Endlicher et Unger (*Eléments de Botanique*, 1843, p. 449-468), avait été distinguée de la *Géographie des plantes*, un demi-siècle auparavant, dans les aphorismes de ma *Flore souterraine* : « Geognosia naturam animantem et inanimam vel, ut vocabulo minus apto, ex antiquitate saltem haud petito, utar, corpora organica æque ac inorganica considerat. Sunt enim tria quibus absolvitur capita : Geographia oryctologica quam simpliciter geognosiam vel geologiam dicunt, virque acutissimus Wernerus egregie digessit; Geographia zoologica, cujus doctrinæ fundamenta Zimmermannus et Treviranus jecerunt; et Geographia plantarum quam æquales nostri diu intactam reliquerunt. Geographia plantarum vincula et cognationem tradit, quibus omnia vegetabilia inter se connexa sint, terræ tractus quos teneant, in aerem atmosphæricum quæ sit eorum vis ostendit, saxa atque rupes quibus potissimum algarum primordiis radicibusque destruantur docet, et quo pacto in telluris superficie humus nascatur, commemorat. Est itaque quod differat inter geographiam et physiographiam, *historia naturalis* perperam nuncupatam, quum Zoognosia, Phytognosia et Oryctognosia, quæ quidem omnes in naturæ

investigatione versantur, non nisi singulorum animalium, plantarum, rerum metallicarum vel (venia sit verbo) fossilium formas, anatomen, vires scrutantur. Historia telluris, geognosiæ magis quam physiographiæ affinis, nemini adhuc tentata, plantarum animaliumque genera orbem inhabitantia primævum, migrationes eorum compluriumque interitum, ortum quem montes, valles, saxorum strata et venæ metalliferæ ducunt, aerem, mutatis temporum vicibus, modo purum, modo vitiarum, terræ superficiem humo plantisque paulatim obtectam, fluminum inundantium impetu denuo nudatam, iterumque siccatam et gramine vestitam commemorat. Igitur Historia zoologica, Historia plantarum et Historia oryctologica, quæ non nisi pristinum orbis terræ statum indicant, a geognosia probe distinguendæ. » (Humboldt, *Flora Fribergensis subterranea, cui accedunt aphorismi ex Physiologia chemica plantarum*, 1793, P. IX-X.) Sur les mouvements spontanés dont il est question plus bas dans le texte, cf. un passage remarquable d'Aristote, *de Cœlo*, II, 2, p. 284 Bekker, où la distinction entre les corps animés et les corps inanimés est tirée du mode de détermination au mouvement, soit intérieur, soit extérieur. « L'âme nutritive des végétaux, dit le Stagirite, ne produit aucun mouvement, parce qu'elle est plongée dans un engourdissement dont rien ne peut la tirer (Aristote, *de Generat. animal.*, V. I, p. 778 Bekker); ils n'ont en propre aucun désir qui les incite à produire d'eux-mêmes des mouvements. » (Aristote, *de Somno et Vigil.*, cap. I, p. 455 Bekker.)

(21) [page 413]. Mémoire d'Ehrenberg *sur la vie microscopique dans l'Océan*, lu à l'*Acad. des sciences de Berlin*, le 9 mai 1844.

(22) [page 414]. Humboldt, *Tableaux de la Nature.*

(23) [page 414]. Sur la multiplication par la division spontanée du corps générateur et par l'intercalation d'une substance nouvelle, voy. Ehrenberg, *des Espèces animales actuellement*

vivantes de la formation crétacée, dans les *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1839, p. 94. La plus grande faculté génératrice, dans la nature, est celle des Vorticelles. On trouve l'évaluation du maximum de rapidité que puisse atteindre le développement de masse, dans le grand ouvrage d'Ehrenberg: *les Infusoires considérés comme organismes complets*, 1838, P. XIII, XIX et 244. « La voie lactée de ces organismes est formée des espèces *Monas*, *Vibrio*, *Bacterium et Bodo.* » La vie est répandue dans la nature avec une telle profusion, que de petits infusoires vivent en parasites sur d'autres infusoires plus grands, et même que les premiers servent, à leur tour, de demeures à d'autres infusoires encore plus petits (Voy. p. 194, 211 et 512).

(24) [page 415]. Aristote, *Hist. animal.*, V. 19, p. 552, Bekker.

(25) [page 416]. Ehrenberg, ouvrage cité, P. XIV, 122 et 493. A la multiplication rapide des animalcules microscopiques, vient se joindre pour quelques-uns (anguilles du froment, infusoires roulés en cercle, ours d'eau ou tardigrades) une étonnante vitalité. Après avoir été desséchés pendant 28 jours dans le vide, à l'aide du chlorure de chaux et de l'acide sulfurique, après avoir été chauffés à 120°, ces infusoires ont pu encore être rappelés à la vie et sortir de leur engourdissement. Voyez les belles recherches de M. Doyère, dans son *Mém. sur les Tardigrades et sur leur propriété de revenir à la vie*, 1842, p. 119, 129, 131 et 133. Cf. en général, sur la résurrection des infusoires desséchés pendant des années entières, Ehrenberg, p. 492, 496.

(26) [page 416]. Sur la « transformation primitive » présumée de la matière organique ou inorganique en plantes et en animaux, cf. Ehrenberg, dans les *Annales* de Poggendorff, vol. XXIV, p. 1, 48, et le même auteur, *Animalcules infusoires*, p. 121 et 525; Jean Müller, *Physiologie de*

l'homme (4e éd., 1844), vol. I, p. 8, 17, allem. Il me paraît extrêmement remarquable que saint Augustin, en traitant cette question : comment les îles ont-elles pu recevoir, après le déluge, de nouvelles plantes et de nouveaux animaux? ne se montre aucunement éloigné d'avoir recours à l'idée d'une génération spontanée (*Generatio æquivoca*, *spontanea aut primaria*). « Si les anges ou les chasseurs des continents, dit ce Père de l'Église, n'ont point transporté d'animaux dans les îles éloignées, il faut bien admettre que la terre les a engendrés; mais alors on se demande à quoi bon renfermer dans l'arche des animaux de toute espèce. » Si e terra exortæ sunt (bestiæ) secundum originem primam, quando dixit : *Producat terra animam vivam!* multo clarius apparet, non tam reparandorum animalium causa, quam figurandarum variarum gentium (?) propter Ecclesiæ sacramentum in Arca fuisse omnia genera, si in insulis, quo transire non possent, multa animalia terra produxit. Augustinus, *de Civitate Dei*, lib. XVI, cap. 7 (*Opera ed. Monarch. ordinis S. Benedicti*, t. VII, Venet., 1732, p. 422). — Deux siècles avant l'évêque d'Hippone, nous trouvons déjà établie, dans les extraits de Trogue-Pompée, entre le dessèchement primitif de l'ancien monde, du plateau asiatique, et la génération spontanée, une connexion semblable à celle qu'on retrouve dans la théorie du grand Linné sur le Paradis terrestre et dans les rêveries du XVIIIe siècle sur l'Atlantide fabuleuse : « Quod si omnes quondam terræ submersæ profundo fuerunt, profecto editissimam quamque partem decurrentibus aquis primum detectam; humillimo autem solo eamdem aquam diutissime immoratam, et quanto prior quæque pars terrarum siccata sit, tanto prius animalia generare cœpisse. Porro Scythiam adeo editiorem omnibus terris esse, ut cuncta flumina ibi nata in Mœotim, tum deinde in Ponticum et Ægyptium mare decurrant. » Justinus, lib. II, cap. I. L'opinion erronée qui fait de la Scythie un plateau élevé est fort ancienne; nous la retrouvons déjà très-nettement indiquée dans Hippocrate (*De aere et aquis*, cap. 6, § 96, Coray). « La Scythie, dit-il, forme une plaine

haute et sèche qui, *sans être couronnée de montagnes*, va toujours en s'élevant vers le nord. »

(27) [page 417]. Humboldt, *Aphorismi ex Physiologia chemica plantarum*, dans la *Flora Fribergensis subterranea*, 1793, p. 178.

(28) [p. 417]. Sur la physionomie des végétaux, voy. Humboldt, *Tableaux de la nature*, vol. II, p. 1, 125.

(29) [page 418]. *Ætna Dialogus. Opuscula*, Basil., 1556, p. 53-54. Dans ces derniers temps, Philippi a donné une belle géographie des plantes de l'Etna. Voy. *Linnæa*, 1832, p. 733.

(30) [page 420]. Ehrenberg, dans les *Annales des sciences naturelles*, t. XXI, p. 387-412; Humbold, *Asie centrale*, t. I, p. 339-342; t. III, p. 96-102.

(31) [page 421.] Schleiden, *sur l'évolution des cellules végétales* dans les *Archives pour l'anatomie et la physiologie* de Müller, 1838, p. 137-176, allem.; même auteur, *Principes fondamentaux de la Botanique*, P. I, p. 191; P. II, p. 11, allem.; Schwann, *Recherches microscopiques sur les similitudes de structure et de développement entre les animaux et les plantes*, 1839, p. 45 et 220. Cf. J. Müller, *Physiologie de l'homme*, 1840, P. II, p. 614.

(32) [page 421]. Schleiden, *Principes de Botanique*, 1842, P. I, p. 192-197, allem.

(33) [page 423]. Tacite, dans ses considérations sur la population de la Bretagne (*Agricola*, cap. II), distingue à merveille ce qui peut tenir aux influences du climat, de ce qui, chez les tribus venues du dehors, appartient, au contraire, à l'antique et immuable pouvoir du type héréditaire. « Britanniam qui mortales initio coluerunt, indigenæ an advecti, ut

inter barbaros, parum compertum. Habitus corporis varii, atque ex eo argumenta; namque rutilæ Caledoniam habitantium comæ, magni artus Germanicam originem adseverant. Silurum colorati vultus et torti plerumque crines, et posita contra Hispania, Iberos veteres trajecisse, easque sedes occupasse fidem faciunt : proximi Gallis, et similes sunt : seu durante originis vi; seu, procurrentibus in diversa terris, positio cœli corporibus habitum dedit. » Cf. sur la permanence des types de configuration dans les régions chaudes et froides de la terre et des montagnes du Nouveau Continent, ma *Relation historique*, t. I, p. 498-503; t. II, p. 572-574.

(34) [page 423.] Cf. sur la race américaine en général le magnifique ouvrage de Samuel George Morton : *Crania americana*, 1839, p. 62-86, et sur les crânes apportés par Pentland du haut pays de Titicaca, *Dublin Journal of Medical and Chemical Sciences*, vol. V, 1834, p. 475; Alcide d'Orbigny, *L'Homme américain considéré sous ses rapports physiologiques et moraux*, 1839, p. 221. Voyez aussi les *Voyages dans l'intérieur de l'Amérique du Nord*, par le prince Maximilien de Wied, 1839, allem.; livre si riche en fines observations ethnographiques.

(35) [page 424]. Rudolph Wagner, *Sur la génération des métis et des bâtards*, dans ses remarques jointes à la traduction allemande de l'ouvrage de Prichard, *Histoire naturelle de l'espèce humaine*, t. I, p. 174-188.

(36) [page 424]. Prichard, t. I, p. 431; t. II, p. 363-369.

(37) [page 424]. Onésicrite dans Strabon, XV, p. 690 et 695 Casaub. — Welcker (*Sur les Tragédies grecques*, en allem., t. III, p. 1078), pense que les vers de Théodecte cités par Strabon étaient empruntés à une tragédie perdue qui portait peut-être le titre de *Memnon*.

(38) [page 425]. Joh. Müller, *Physiologie de l'homme*, en allem., t. II, p. 768, 772-774.

(39) [page 427]. Prichard, t. I, p. 295; t. III, p. 11.

(40) [page 428]. L'arrivée tardive des tribus turques et mongoles, soit sur l'Oxus, soit dans la steppe des Kirghises, est en opposition avec l'opinion de Niebuhr, selon laquelle les Scythes d'Hérodote et d'Hippocrate auraient été des Mongols. Il est beaucoup plus vraisemblable que les Scythes (Scolotes) doivent être rapportés aux Massagètes indo-germains (Alains). Les Mongols, les vrais Tatares (ce dernier nom fut donné plus tard mal à propos à des tribus purement turques en Russie et en Sibérie), habitaient alors bien loin dans l'est de l'Asie. Cf. mon *Asie centrale*, t. I, p. 239 et 400; et l'*Examen critique de l'histoire de la Géographie*, t. II, p. 320. Un linguiste distingué, le professeur Buschmann, rappelle que Firdoussi, dans le Schahnâmeh, qui débute par une histoire à demi mythique, fait mention d'une « forteresse des Alains » sur les bords de la mer, où Selm, le fils aîné du roi Féridoun (deux siècles certainement avant Cyrus), voulait se réfugier. Les Kirghises de la steppe dite scythique étaient originairement une population finnoise; ils sont aujourd'hui vraisemblablement, avec leurs trois hordes, le plus nombreux de tous les peuples nomades, et ils vivaient déjà au VI[e] siècle dans la steppe où je les ai vus. Le Byzantin Ménandre (p. 380-382, éd. Niebuhr), raconte positivement que le chakan des Turks (Thu-Khiu), en 569, fit présent d'une esclave kirghise à l'ambassadeur de Justin II, Zémarque; il appelle cette esclave une χερχίς, et de même chez Aboulgasi (*Historia Mongolorum et Tatarorum*) les Kirghises sont nommés Kirkiz. La ressemblance des mœurs, là où la nature du pays leur imprime un caractère dominant, est une preuve fort peu certaine de l'identité des races. La vie des steppes produit chez les Turks (Ti, Tukiu), chez les Baschkirs (Finnois), chez les Kirghises, chez les Torgod et les Dsungares (Mongols), les usages communs aux tribus nomades, celui

des tentes de feutre, par exemple, transportées sur des chars, et dressées auprès des troupeaux.

(41) [page 428]. Guillaume de Humboldt, *Sur la] diversité de structure des langues humaines*, dans le grand ouvrage *Sur la langue kawi*, *dans l'île de Java*, t. I, p. XXI, XLVIII et CCXIV.

(42) [page 430]. La doctrine si désolante, et plus tard tant de fois reproduite, de l'inégalité du droit à la liberté parmi les hommes, et de l'esclavage comme étant une institution fondée sur la nature, se trouve, hélas! développée avec une rigueur toute sytématique dans Aristote, *Politique*, I, 3, 5, 6.

(43) [page 431]. Guillaume de Humboldt, *Sur la langue kawi*, t. III, p. 426. Je tire du même ouvrage les réflexions suivantes: « Les impétueuses conquêtes d'Alexandre, celles des Romains, conduites avec une habileté toute politique, celles des Mexicains, si sauvages et si cruelles, les despotiques réunions de territoire des Incas, ont contribué, dans les deux mondes, à faire cesser l'isolement des peuples et à former de plus vastes sociétés. De grandes et fortes âmes, des nations entières agirent sous l'empire d'une idée qui, dans sa pureté morale, leur était complétement étrangère. Ce fut le christianisme qui la proclama le premier, dans sa vérité et sa charité profonde, quoiqu'il lui ait fallu bien du temps pour la faire accueillir. L'on ne trouve auparavant que des accents épars et fugitifs préludant à cette grande voix. Les temps modernes ont donné un essor nouveau à l'idée de la civilisation, et ont suscité le besoin d'étendre de plus en plus les relations des peuples entre eux, et les bienfaits de la culture morale et intellectuelle. La cupidité elle-même commence à trouver qu'il y a plus à gagner pour elle en suivant cette voie de progrès, qu'en maintenant par la force un isolement rétrograde. Le langage, plus qu'aucune autre faculté de l'homme, forme un faisceau de

l'espèce humaine tout entière. Il semble, au premier abord, séparer les peuples comme les idiomes; mais c'est justement la nécessité de s'entendre réciproquement dans une langue étrangère qui rapproche les individualités, en laissant à chacune son originalité propre. » (*Ibid.*, p. 427.)

FIN.

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT, RUE RACINE, 28, PRÈS DE L'ODÉON.



